



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Armeret Jord

Data rapport om jord armeret med syntetiske duge

Jacobsen, Moust; Jørgensen, Poul

Publication date:
1983

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jacobsen, M., & Jørgensen, P. (1983). *Armeret Jord: Data rapport om jord armeret med syntetiske duge*.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

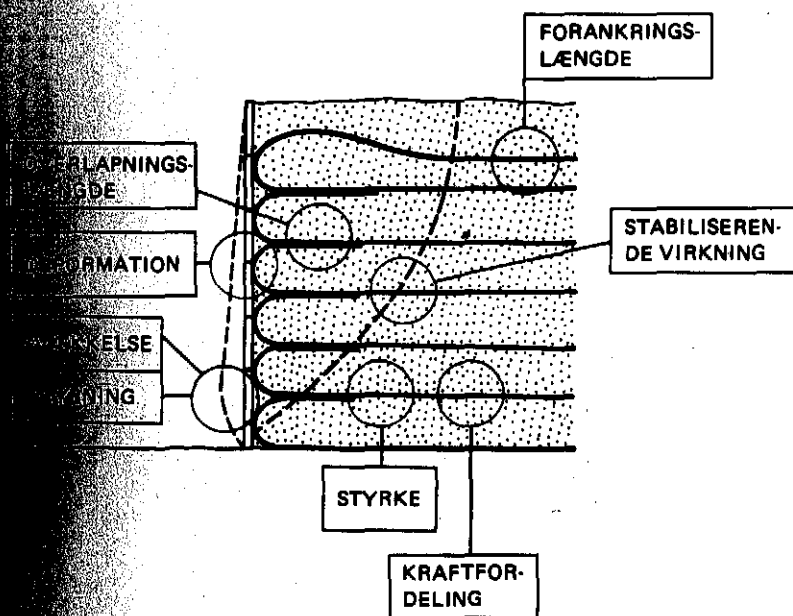
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Moussé Jacobsen, Poul Jørgensen:

Dat rapport om

ARMERET JORD



LABORATORIET FOR FUNDERING

MARTS 1983

Aalborg Universitetscenter

Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik

Strømmevej 57, 9000 Aalborg

Gule Thors

Moust Jacobsen, Poul Jørgensen:

Datarapport om

ARMERET JORD

Datarapport om

JORD ARMERET MED SYNTETISKE DUGE

INDLEDNING

Jord er som bekendt ikke særlig velegnet til at optage totalspændinger. Først i 60'erne foreslog franskmændene Henri Vidal at indlægge armering i jorden, således at den kan optage trækspændinger og derigennem blive forstærket. Den almindeligste forstærkning består af trækbånd af jern eller aluminium.

For få år siden fandt syntetiske duge for første gang anvendelse til forstærkning af jord. Den således armerede jord ligner i princippet armeret beton og der er fælles problemstillinger såsom overlappingslængde, forankringslængde og placering af armering. Materialernes særlige egenskaber kræver dog også andre overvejelser, og det er endnu uvist, om konstruktioner af jord armeret med duge er hensigtsmæssige, men metoden har øjensynlige økonomiske fordele og bør derfor undersøges nærmere.

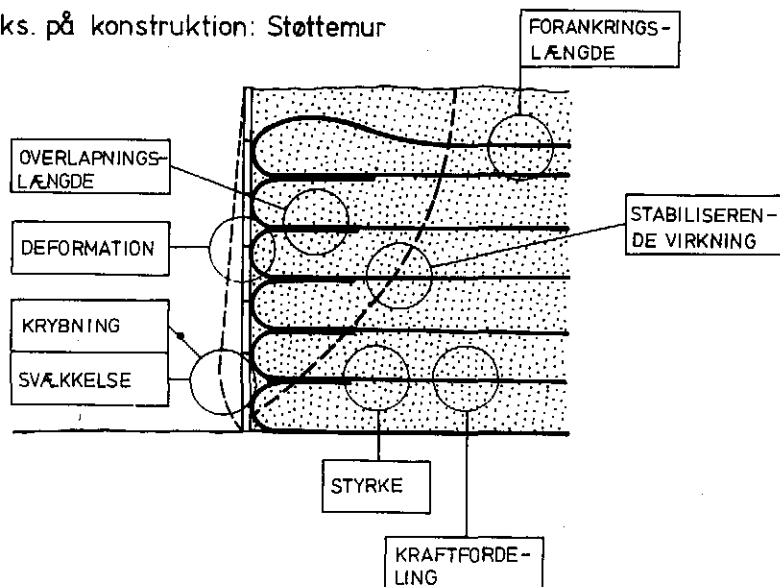
I januar 1980 ansøgte sektionen for Vandbygning, Anlægsteknik og Fundering ved Danmarks Ingeniørakademi og Funderingslaboratoriet ved Aalborg Universitetscenter i samarbejde med Geodan om støtte til et projekt vedrørende »Undersøgelser af konstruktioner af jord armeret med syntetiske duge«. Teknologirådet bevilligede penge til dette formål i 1980 og 1981.

Projektet har i afgørende faser været forelagt en følgegruppe, som også har fulgt planlægningen af projektet.

AUC's andel af projektet består i at undersøge dugens egenskaber og samspillet med jorden. En række problemstillinger er vist på oversigten. Her ses en armeret støttemur, men der kunne lige så godt være vist en armeret dæmning eller et fundament på et armeret fyldlag. Det er klart, at deformation i dugen og dens styrke sætter en begrænsning for dens anvendelse. Men også dugens langtidsegenskaber er meget vigtige. Selv om dugen er beskyttet mod svækkelse fra sollyset, betyder en konstant belastning, at dugen strækkes i tidens løb. Herved rykkes nogle fibre over og der indtræder en svækkelse. Såfremt dugen er for kort, må den næste dug udlægges med en vis overlappingslængde, og det er derfor væsentligt at kende dugens egenfriktion. Endvidere må man have en mulighed for at bestemme dugens forankringslængde. Af stor interesse er også et nøjere studium af dugens stabiliserende virkning, der ved stabilitetsbrud bedst

OVERSIGT

Eks. på konstruktion: Støttemur



DEFORIMATION	KRYBNING		KRAFTFORDE-LING	DEFORIMATION
STYRKE	SVÆKKELSE	OVERLAPNING	FORANKRING	STABILISEREN-DE VIRKNING
BREDHOLDER FORSØG	BREDHOLDER FORSØG	UDTRÆKNINGS FORSØG	UDTRÆKNINGS FORSØG	SKÆRBOX FORSØG

undersøges i den nyudviklede »skrå skærbox«, og ved zonebrud bedst undersøges i et stort triaxialapparat.

Rapporten bygger hovedsagelig på de forsøg, som ovennævnte bevil-
ling gjorde mulig. Projektet er dog senere blevet støttet af Aalborg Uni-
versitetscenter, og laboratoriet har selv fortsat projektet. Projektet er
suppleret med et afgangprojekt [1] vedr. støttemure i armeret jord. Pro-
jektet er udført i samarbejde med Geodans Aalborgafdeling og Fibertex,
som har stillet syntetiske duge til rådighed samt udlånt deres bredholder-
apparat. Projektet er ikke gennemført i fuld udstrækning, fordi bevillin-
gen slap op. Dugens stabiliserende virkning har ikke kunnet afklares, selv
om det nødvendige apparatur er færdigopstillet og afprøvet.

Det må endvidere påpeges, at der ikke er udført forsøg nok til en for-
svarlig statistisk behandling. Der skulle da dels være udført flere forsøg
med prøver fra samme dugstykke, dels skulle være udført forsøg med til-
fældigt udtagne prøver. Der er imidlertid udført forsøg nok til at give en
orientering om de undersøgte problemstillinger.

DUGENS STYRKE OG TØJNINGSEGENSKABER

Klassifikation af dug

I dette afsnit beskrives forsøg udført på dugen alene, altså uden at den er i kontakt med jord.

Fabrikkens oplysninger

De anvendte duger er alle af fabrikatet »Fibertex«. Dugene er fremstillet af polypropylen stapelfibre og tilvirket til non-woven dug.

Under tilvirkningen gennemløber dugene forskellige processer såsom kartning, nåling samt termisk fiksering (opvarmning af overfladen under kompression), bortset fra mærket F 4M, som ikke er thermofikseret.

Dugene er fremstillet i adskillige typer. De typer, der har været benyttet i dette projekt, er vist i tabel 1. Der er angivet de egenskaber som har betydning i dette projekt. Det er dugens trækstyrke og deformation, således som den bestemmes ved standardbredholderforsøg på fabrikken på

Tabel 1. Fibertex geotextiler, fabrikstal.

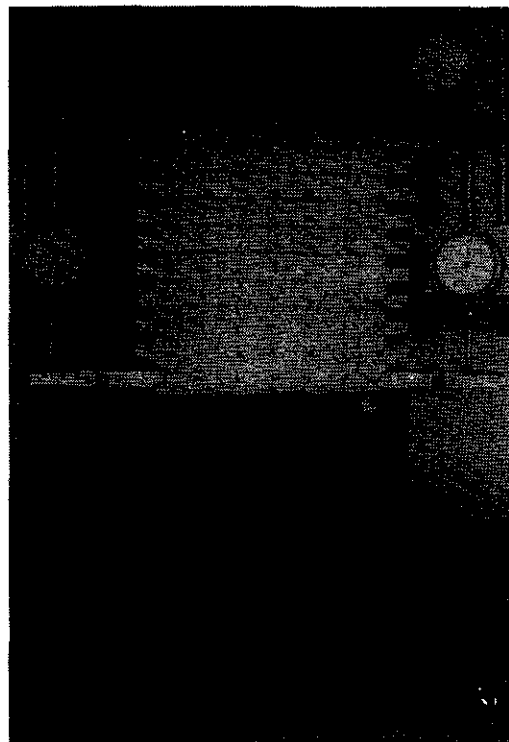
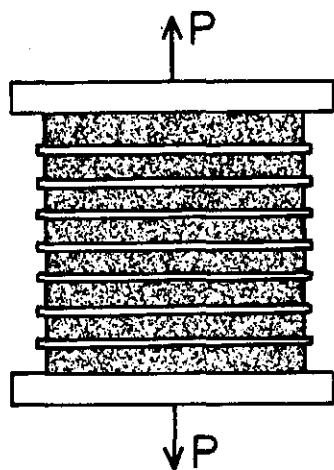
	Brudkraft P_z kN/m	Deformation e %	Våhdgennemløb $Q/sec./m^2$	Dugtykkelse mm	Vægt g/m ²
G 100 på langs	4	35	150	0,6	100
F 2B på langs	8	50	90	0,95	140
S 300 på langs	12	40	19	1,3	300
S 300 på tværs	16	60			
S 400 på langs	13	72	4	1,5	400
S 400 på tværs	28	45			
F 4M på langs	16	70	105	3,2	300

10 x 20 cm prøver. Det er vandgennemløbet ved 10 cm vandtryk, der også er et mål for hvor tæt komprimeret dugen er. Endvidere dugens vægt og tykkelse.

Bredholderen

Dugene er afprøvet i et apparat, der kaldes en bredholder. Det er et simpelt trækapparat, hvori dugen forhindres i at blive smallere under forsøget. Det opnås ved at fæstne en række stænger til dugen med nåle.

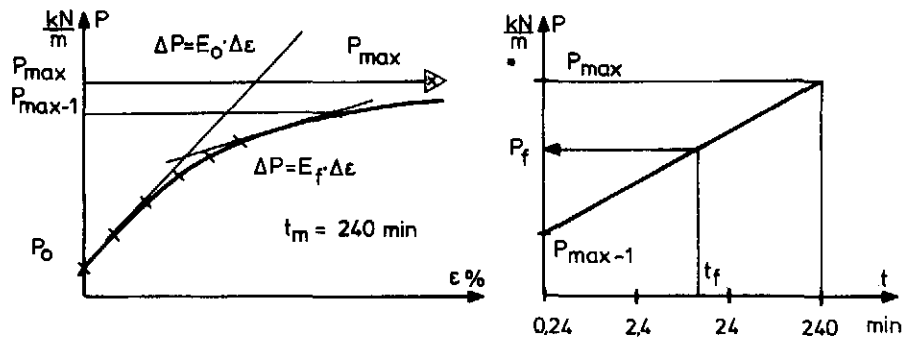
I den her benyttede version, som er udlånt af Fibertex, er dugstørrelsen 20 x 20 cm og belastningen påføres med lodder. (se figur 1)



Figur 1: Bredholderapparat.

Dugens arbejdskurve

Resultatet af et bredholderforsøg er en arbejdskurve. På figur 2 ses en sådan kurve. Belastningsarrangementet vejer 9,2 kg. Urtrykket er 300 - 500 g. Begyndelsesbelastningen P_0 bliver derfor 0,5 kN/m. Fra denne værdi påføres belastningen P trinvis og hvert trin har så vidt muligt samme længde. Det er dog ikke muligt at gennemføre et forsøg med $t = 240$



Figur 2. Bredholderforsøg på langs. Definitioner på E_0 , E_f og P_f

min. på hvert trin, idet en del belastninger varer natten over. Enkelte belastningstrin har været lidt kortere.

For hver belastning måles den relative længdeændring ϵ .

Ved en belastning P_{\max} bryder dugen. Er denne belastnings varighed netop t_m , som i dette tilfælde er 240 min., er det øjensynlig brudværdien P_f . Varer belastningstrinnet meget kort, fx 1 % af t_m er brudværdien derimod snarere den forrige belastning $P_{\max-1}$. Som en praktisk fremgangsmåde anvendes derfor den viste logaritmiske interpolation.

Arbejdskurven er for små belastninger retlinet og en elasticitetskoefficient E_0 findes let. Nær brud kan defineres en anden værdi E_f , hvis nøjagtige størrelse er noget vanskeligere at finde.

Forsøgsresultater

Det samlede antal forsøg med $t_m = 240$ min. ses i tabel 2, hvor også de vigtigste data findes. Arbejdskurverne er vist i bilag.

Af tabel 1 og 2 ses, at fabrikstallene, der findes af hurtige forsøg med små prøver, giver større værdier af P , nøjagtig som man måtte forvente. Virkningen er meget stor for F-2B og F-4M, men ikke særlig tydelig for S 300 og S 400. Det stemmer med dugenes struktur. De »bløde« duge

F2B og F-4M's løse struktur giver stor krybning og lille langtidsstyrke, fordi trådene her kan gå i stykker enkeltvis.

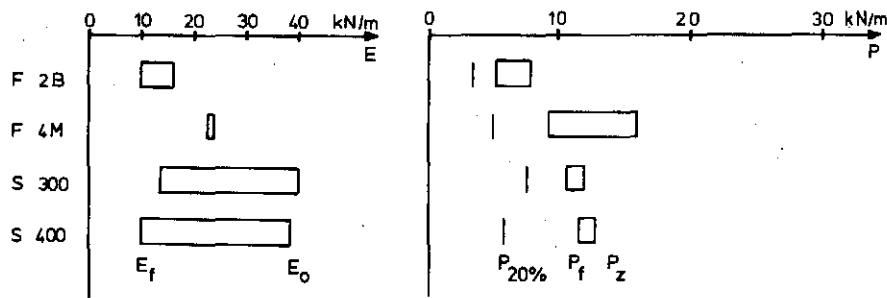
Resultaterne er også vist i figur 3. Her ses E_0 og E_f for de undersøgte duger. Et smalt bånd betyder, at arbejdskurven er retlinet næsten til brud. Bruddet vil ske uden særlige store deformationer, så man vil ikke blive advaret på forhånd. Et bredt bånd betyder derimod en krum arbejdskurve og en advarsel om kommende brud.

Tabel 2. Klassifikation af duger. Bredholderforsøg.

	For- søg no	Fig. no i bilag	E_0 kN/m	E_f kN/m	P_{20} kN/m	P_{max-1} kN/m	P_{max} kN/m	t_f min.	ϵ_f %	P_f kN/m
F 2B	2	101	16	10	3.5	5.0	6.0	2	44	5.3
på langs	5					5.0	6.3	1	43	5.3
F 4M	4	102	23	23	4.8	8.5	10.3	35	39	9.6
på langs	19					8.5	10.3	0.5	44	8.7
S 300	1	103	40	13	7.5	10	11	60	-	10.8
på langs	7					9.0	10.5	180	46	10.4
S 400	6	105	38	10	5.9	10.5	11.5	125	81	11.4
på langs	8					11.0	12.0	0.5	86	11.2
S 300	10	104	32		7.6					
på tværs										
S 400	9	106	54		11.6					
på tværs										

I figur 3 ses desuden tre karakteristiske værdier af P . Nemlig den værdi P_{20} der svarer til $\epsilon = 20\%$, den værdi P_f der svarer til brud ved $t_m = 240$ min. og den værdi P_z , der svarer til korttidsbelastning. P_z er fabrikstallet.

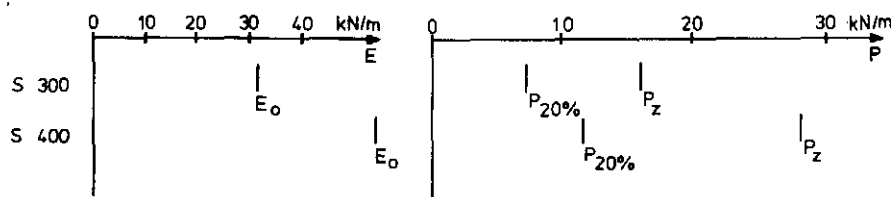
Det er klart, at såfremt problemet har karakter af et korttidsproblem, fx hvis dugen anvendes til stabilisering af en vej, hvor trafikken er afgørende, må fabrikstallene anses for passende værdier. Hvis dugen derimod skal anvendes permanent, må man finde en værdi, der svarer til en langtidstilstand. Hertil kan de viste resultater ikke umiddelbart benyttes. Men



Figur 3. Bredholderforsøg på langs. Resultater af klassifikationsforsøg.

figur 3 viser dog, at chancen for at gætte en forkert langtidsstyrke er størst for F 4M, hvor dugens styrke næsten er faldet til det halve når $t_m = 240$ min. Tilsvarende kan siges at de »hårde« duge S 300 og S 400 ikke vil give helt så store langtidsproblemer.

Med de to duge S 300 og S 400 er udført to forsøg for at blive orienteret om styrken, såfremt dugen trækkes på tværs af længderetningen. De viser, at S 300 har næsten samme styrke på langs og på tværs. S 400 er derimod betydelig stærkere ved påvirkning på tværs. Disse resultater kan dog ikke bruges til en konklusion, da der kun er udført to forsøg!



Figur 4: Bredholderforsøg på tværs. Resultat af klassifikationsforsøg.

DUGENS LANGTIDSEGENSKABER

Når en dug gennem længere tid - i praksis i mange år - belastes med en konstant kraft, vil den til stadighed strække sig, selv om det sker med aftagende hastighed. Såfremt kraften er stor nok vil der samtidig indtræde en svækkelse af dugen, idet nogle fibre vil brydes. Dette forhold har naturligvis stor betydning for konstruktionens sikkerhed, og en undersøgelse af dette punkt skal da helst vise hvilken ekstra sikkerhedsfaktor, der skal sættes på den materialstyrke, som defineres af fabrikkens kontrolforsøg, eventuelt om dette punkt kan afklares ved et simpelt forsøg.

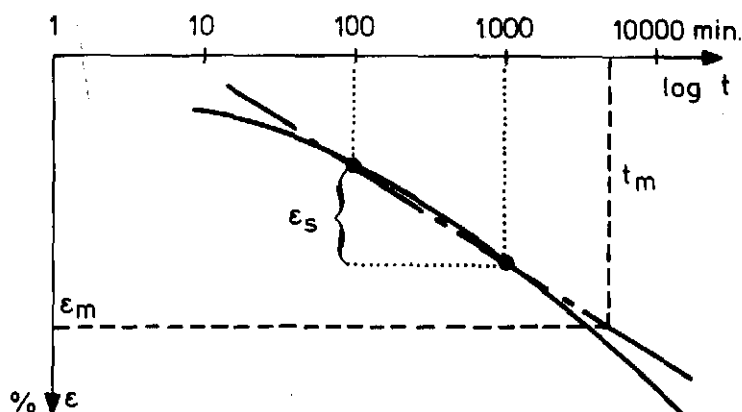
Figur 3 giver allerede en vis ide om punktets betydning. Her er nemlig vist fabrikkens tal P_z , der svarer til meget kort tids belastning og AUC's forsøg, der svarer til en tilstræbt længde af de enkelte belastningstal på 240 min. De to værdier angiver et interval, der er vist som en kasse. En stor kasse tyder altså på en kraftig indvirkning af krybning.

Til disse forsøg er valgt en dug med ringe virkning af krybningen, nemlig S300.

Forsøgene er udført som bredholderforsøg med prøvelegemer på $20 \times 20 \text{ cm}^2$. Det enkelte belastningstrin er afbildet i semilogaritmisk afbildning (se figur 5).

Der fås herved en kurve, der ofte ender med at blive retlinet. Krybningen ϵ_s defineres nu som dekadehældningen mellem 100 minutter og 1000 minutter, altså $\epsilon_s = \epsilon_{1000} - \epsilon_{100}$.

I hvert forsøg tilstræbes en bestemt varighed af hvert trin t_m . Det er imidlertid ikke praktisk gennemførligt. Men forsøgene korrigeres da ved at anvende den tilsvarende værdi ϵ_m . Den fremgår normalt af kurven, men bliver i de få tilfælde, hvor $t_{\max} < t_m$, fundet ved extrapolation.



Figur 5: Krybningsforsøg. Definition på t_m , ϵ_m og krybningen ϵ_s .

Forsøgsresultater

Der er udført en forsøgsserie med forskellig varighed af belastningen, nemlig fra $t_m = 4$ min. til $t_m = 4000$ min. således som vist i tabel 3.

Tabel 3: Langtidsforsøg med S300.

t_m i min.	4	4	16	16	50	60	240	1200	1440	4000
Forsøgsnumre										
Prøve nr. 1							1			7
Prøve nr. 2	16	17	13	14	15	12		18	20	
Fig. i tekst	7	7	7	7	7	7	6	7	7	6
Fig. i bilag	107	107	108	108	109	110	111	112	113	114
P_f i kN/m	11,3	11,9	10,4	9,7	10,4	10,8	10,8	9,3	9,7	9,7

Observationsmaterialet er for alle nævnte bredholderforsøg meget stort. I bilaget fig. 115 er vist tidskurverne for forsøg 18. For de største belastningers vedkommende ligner tidskurverne den, der er vist i figur 5. De mindste belastninger udviser konstant dekadehældning.

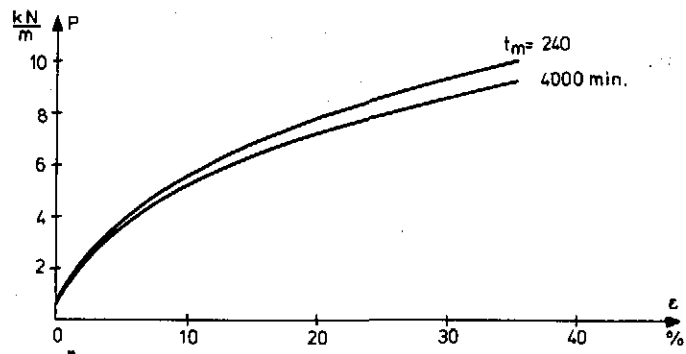
Forsøgene falder i to grupper, svarende til to forskellige dugprøver.

Prøve no 1: Forsøg no 1 og 7.

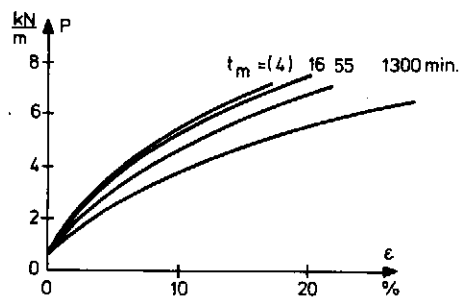
Prøve no 2: Forsøg no 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20.

Forsøgenes arbejdskurver er vist på figur 6 og 7. Det ses tydeligt, at dugens deformation i høj grad afhænger af tiden. Når $t_m = 4$ og 16 næsten ligger oven i hinanden, skyldes det manglende forsøgsteknik i det hurtige forsøg.

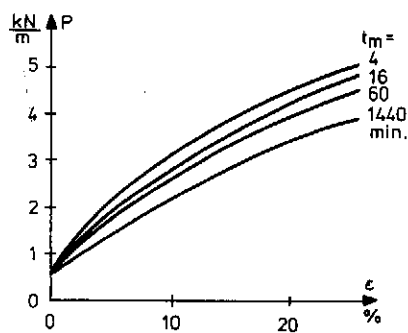
Forsøg med G100 [1] udviser samme billede, blot er også de hurtigste forsøg blevet vellykkede. (Fig. 8).



Figur 6: Prøve no 1. Arbejdskurver med forskellig varighed af belastningstrin. Dug S300. Forsøg på langs.

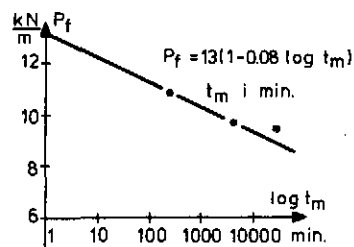


Figur 7: Prøve no 2. Arbejdskurver med forskellig varighed af belastningstrin. Dug S300. Forsøg på langs.

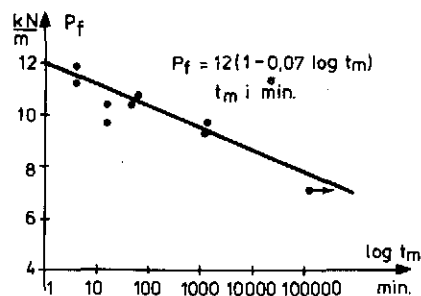


Figur 8: Arbejdskurver med forskellig varighed af belastningstrin. Dug G100 på langs. [1]

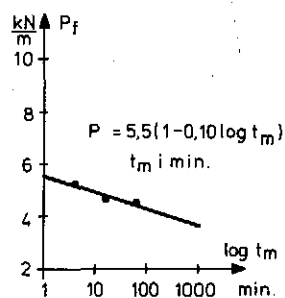
Ved at afsætte brudværdierne som funktion af $\log t_m$ fås en ide om belastningstidens indflydelse på dugens styrke (svækkelse af dugen. Fig. 9 - 11. Fig. 10 viser det bedst underbyggede resultat. Det ses at være i nøje overensstemmelse med fabrikstallene $P_z = 12 \text{ kN/m}$ ($\sim t_m = 1-4 \text{ min.}$) og fig. 3.



Figur 9: Svækkelse af dug. S300 på langs. Prøve no 1.

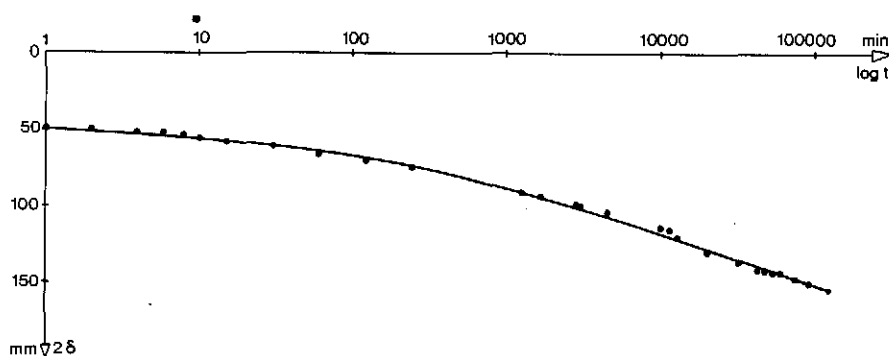


Figur 10: Svækkelse af dug. S300 på langs. Prøve no 2.



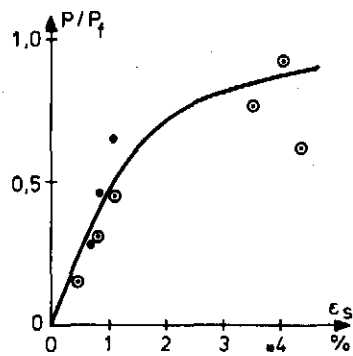
Figur 11: Svækkelse af dug G100 på langs [1].

For yderligere at udbygge dette resultat, som må anses for afgørende vigtigt for bedømmelsen af en dugs egnethed til langtidsforstærkning af jord, er udført et forsøg med et meget langt øverste trin. Forsøget har ved datarapportens skrivning været i 100 000 minutter svarende til 2,5 måneder, og vil fortsætte meget længe endnu, hvis brud ikke indtræder. Forsøget er angivet med $\bullet \rightarrow$ i figur 10. Tidskurven for sidste belastnings-trin er angivet i figur 12.

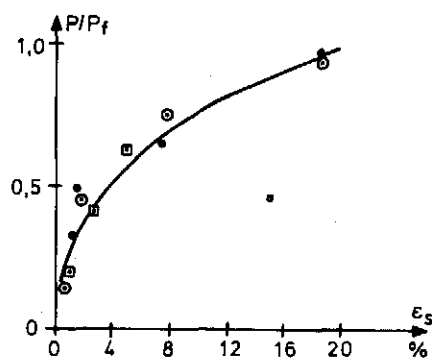


Figur 12: Langtidsforsøg med S300.

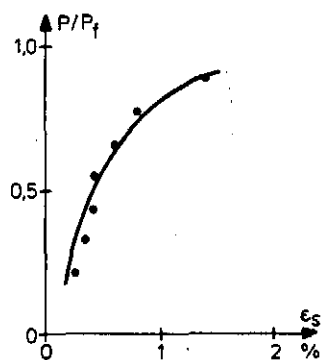
Krybningen, bestemt som $\epsilon_{1000} - \epsilon_{100}$, er opmålt på tidskurverne og i fig. 13-15 vist som funktion af P/P_f . P_f findes af fig. 9-11 med den korrekte værdi af t_m . Forsøgene viser, at krybningen tiltager meget efter at ca. halv brudlast er overskredet og at den bliver meget stor (20%) kort før brud. Krybningen kan naturligvis også bestemmes af fig. 6-8, såfremt kurvebilledet tolkes således, at forskelle i ϵ for samme værdier af P alene skyldes krybning. På fig. 13, 14 og 15 er med \square vist de udregnede værdier af $\epsilon_s \sim \epsilon_{1000} - \epsilon_{100}$.



Figur 13: Prøve no 1. Krybning i dug. Dug S300 på langs.



Figur 14: Prøve no 2. Krybning i dug. Dug S300 på langs.



Figur 15: Krybning i dug. G100 på langs. [1].

Til slut skal omtales et negativt resultat: En fælde man helst ikke skal falde i.

Af figur 7 med dens brede vifte af arbejdskurver kunne man få den tanke at proportionere resultaterne til een arbejdskurve og lade tiden indgå i proportionalitetsfaktoren. Det går meget fint, hvis man finder P_{16}/P for samme værdi af ϵ (lodret affinitet). (Se bilag fig. 116 og 117). På fig. 16 ses resultatet for prøve 2:

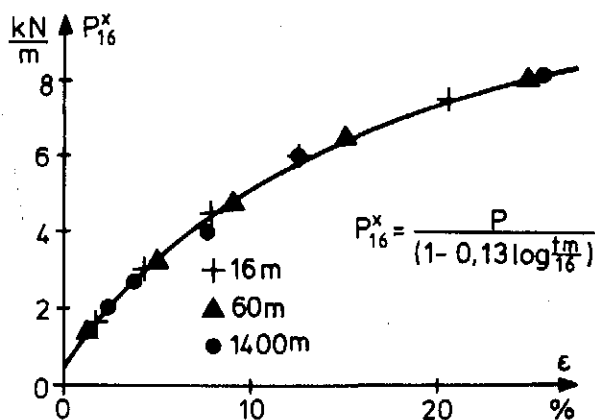
$$P = P_{16} (1 - 0,13 \log \frac{t_m}{16}) \quad \text{hvor } t_m \text{ indsættes i min.}$$

*afgangs
projekt
ansat
side 2* og et helt tilsvarende resultat angives i [1] for G100:

$$P = P_{16} (1 - 0,11 \log \frac{t_m}{16}) \quad \text{hvor } t_m \text{ indsættes i min.}$$

Disse resultater kunne tolkes som en så kraftig svækkelse af dugen, at den i praksis ville være uanvendelig. Heldigvis viser fig. 9 - 11 da også et langt gunstigere resultat.

Resultatet er en »normaliseret« arbejdskurve, der for belastninger under ca. 50% af brudværdien fortæller noget om tidens indflydelse. Man skal da blot korrigere P for belastningens varighed t_m . Den korrigerede værdi P_{16}^x benyttes da til at finde ϵ .



Figur 16: Prøve no 2. Tidens indflydelse. S300 på langs.

Konklusion

Langtidspåvirkninger på et geotextil, som her undersøgt, består dels i en svækkelse af dugen, dels af vedvarende, omend aftagende deformationer. Det er naturligvis to sider af den samme sag, idet fibrene strækkes og nogle brydes i tidens løb. I samspillet med jord betyder det en omfordeling af spændingerne i jorden og en uensartet tøjningstilstand som kan betyde en svækkelse af jorden. Armeret jord må derfor forventes at få egenskaber der ligner dugens, og tidens indflydelse på en konstruktion i armeret jord bliver derved afgørende vigtig.

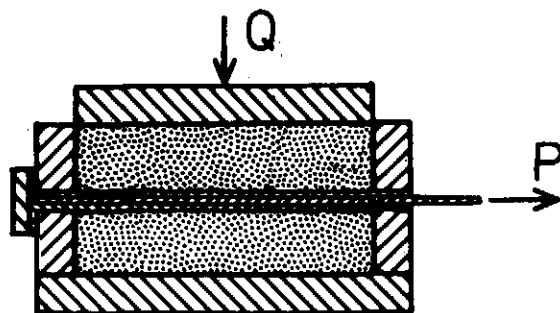
Der er undersøgt en dug, hvor langtidsvirkningen må formodes at være så lille som mulig, nemlig S300. Men den svækkes alligevel ca. 7% pr. tidsdekade (Fig. 10) og har en krybning ϵ_s på ca. 4% ved den halve brudbelastning. Sættes konstruktionens levetid til 60 år og forlanges der til den tid en sikkerhed på 2, må dugen da højst belastes med $P = P_f \cdot 0,5(1 - 0,07 \log(3 \cdot 10^7)) \approx 1/4 P_f$. Hertil svarer da også en passende lille værdi af ϵ_s .

Betydning af den store partialkoefficient $f_m = 4$ på dug S300 kan dog ikke påvises umiddelbart. Hertil kræves en forståelse af samspillet mellem dug og jord.

DUGENS EGENFRIKTION

Hvor to duge overlapper hinanden, fx ved murfront, skal overlappingslængden være så stor, at trækket i den ene dug kan overføres til den anden. Det har derfor interesse at måle to duges indbyrdes friktion når de glider på hinanden.

Forsøgsopstillingen er vist skematisk på figur 17. I en almindelig skærboks indlægges i brudfladen 3 duge. De to yderste duge fastholdes, me-



Figur 17: Udtrækningsforsøg, dug mod dug. Skematisk forsøgsopstilling.

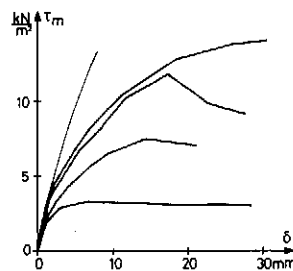
dens den midterste dug trækkes ud. Den midterste dug er bredholdt. Forsøget er ikke et skærboxforsøg, men et udtrækningsforsøg. Sandet benyttes i dette forsøg alene som et hjælpemiddel, nemlig til at fordele trykket. Men det udlægges dog alligevel på samme måde som ved senere forsøg.

Ved udtrækningen måles samhörørende værdier af trækraften P og dugens flytning δ i forhold til skærboxen. Udtrækningen foretages med konstant hastighed og forsøget gennemføres på ca. 4 timer.

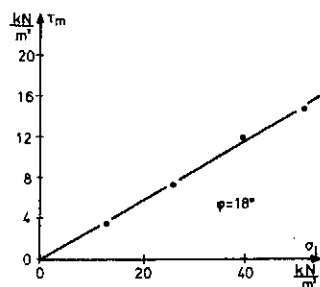
Forsøgsresultater

Der er udført ialt 4 forsøg med S300 på langs. Forsøgene er udført med forskellige værdier af den lodrette belastning, nemlig $\sigma_z = 13, 26, 40$ og 52 kN/m^2 . Forsøgenes arbejdskurver fremgår af figur 18, der er optegnet på grundlag af tabellen i bilag, figur 118.

Brudværdierne, der er fundet som maximumværdier, er afbildet i figur 19, og φ er fundet til 18° , altså en ret lav værdi.



Figur 18: Arbejdskurve for udtrækning af dug mellem duge S300 på langs.



Figur 19: Dugens egenfriktion. S300 på langs.

Videre tolkning

Det er hidtil forudsat at τ er konstant langs med dugen og derfor lig med middelværdien $\tau_m = P/2l$. Belastningstiden til brud er ca. 4 timer, svarende til 4-6 belastningstrin à 40-60 min. varighed. Af figur 10 fås da $P_f = 10,5 \text{ kN/m}^2$ eller $\tau_{\max} = 26 \text{ kN/m}^2$, som altså ikke må overskrides.

Under forsøget er der samme spænding i det dugstykke, der ligger mellem belastningskæben og berøringslinien med de to andre duge. Det strækker sig svarende til et bredholderforsøg (figur 7). Ved optegning af figur 18 er δ korrigeret for denne tøjning.

For små værdier af τ_m trækkes dugen ikke ud, men deformeres. Antages τ som sædvanlig konstant langs med dugen, aftager trækraften p i dugen lineært fra P for $x = l$ til 0 for $x = 0$. Med en retlinet arbejdskurve fås derfor

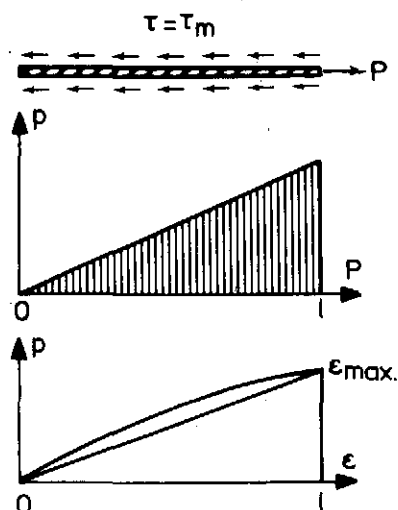
$$\delta = \int_0^l \epsilon \, dx = \int_0^l \epsilon_{\max} \cdot \frac{x}{l} \, dx = \frac{1}{2} \epsilon_{\max} \cdot l$$

Den således beregnede værdi af δ er indlagt med tynd linie på figur 18 og stemmer med arbejdskurven for små τ -værdier. Den senere afvigelse skyldes hovedsagelig begyndende udtrækning af dugen.

Såfremt man forestiller sig en parabolisk fordeling som den på figur 20 viste, beregnes δ af

$$\delta = \frac{2}{3} \epsilon_m \cdot l$$

Det er omtalt under de udtrækningsforsøg, hvor dugene trækkes ud af sand.



Figur 20: Antagelse om konstant τ langs med dug.

Konklusion

En mindre forsøgsserie viser at dugenes indbyrdes friktionsvinkel er relativt ringe. Det er ikke udforsket nøjere, fordi det ikke spiller nogen rolle i praksis, såfremt man sørger for at der ligger sand mellem overlappende duge.

FRIKTION MELLEM DUG OG SAND

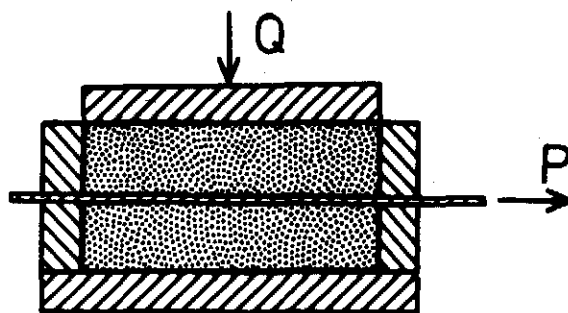
Friktion mellem dug og sand spiller en afgørende rolle ved beregning af nødvendig ankerlængde, men påvirker i høj grad spændingsfordelingen i jorden og medvirker derfor også til at øge stabiliteten af en armeret konstruktion. Friktionen undersøges ved udtrækningsforsøg.

Forsøgsopstilling

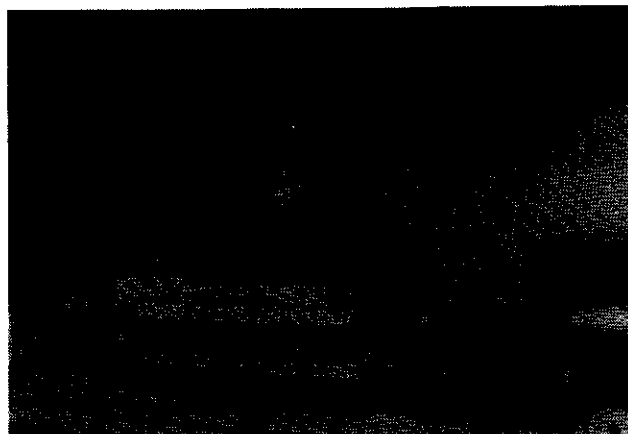
Der anvendes igen en skærbox (fig. 21) hvori dugen indlægges i brudfladen. Den lodrette belastning påføres først og holdes konstant, hvorefter P øges indtil dugen bevæger sig med konstant hastighed. Såvel flytningen af dugens forkant som dens bagkant måles, og dermed kendes dugens bevægelse δ_1 af forkant, samt dens forlængelse ϵ idet der ses bort fra randvirkninger. Der er normalt udført forsøg med en varighed på en halv time, men der er dog udført to forsøg på henholdsvis 8 timer og 3 døgn.

Dugen er bredholdt med små hjul, som med en nål er fæstnet til dugen og under forsøget kører på boksens udvendige side (fig. 22).

Der anvendes Blokhussand, som var laboratoriets standardsand, udlejret med et poretal på 0,56, svarende til en fast lejring. ($I_D \sim 0,9$). Udlejringen er foretaget på sædvanlig måde gennem et sigteværk, der sørger for jævn fordeling af sandet og med konstant faldhøjde. Sandets triaxialt målte friktionsvinkel varierer $35-38^\circ$.



Figur 21: Udtrækningsforsøg dug mod sand. Skematisk forsøgsopstilling.

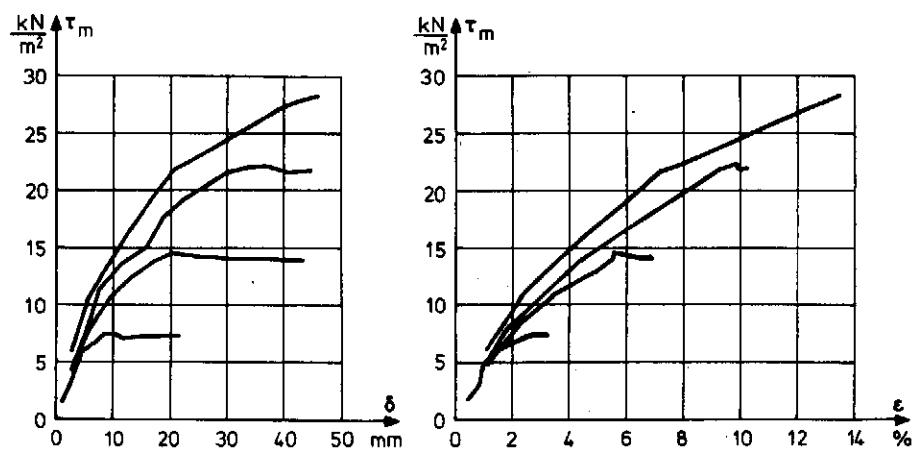


Figur 22: Udtrækningsforsøg. Dug mod sand.

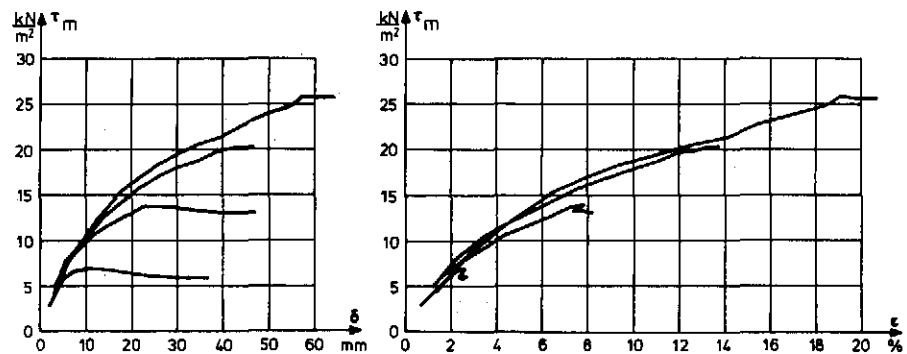
Forsøgsresultater

Der er udført forsøg med tre dugtyper S300 (prøve no 1), S400 og F-4M. På hver af dugene S300 og S400 er udført to forsøgsserier med fire forskellige lodrette belastninger ($\sigma_z = 13, 26, 40$ og 52 kN/m^2). Med F-4M er udført een tilsvarende forsøgsserie.

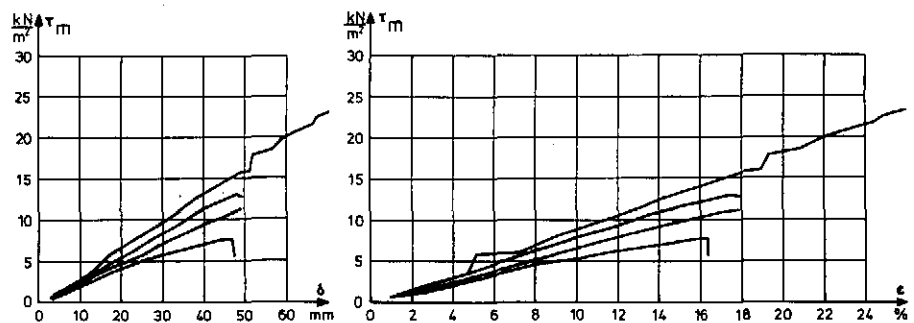
Der er her vist resultaterne fra en forsøgsserie med hver dug. De to sidste forsøgsserier, der er næsten identiske med de tilsvarende forsøg, er vist i bilag figur 119 og 120, hvor også forsøgsserien er vist på tabelform. De med ★ markerede resultater er anvendt ved beregning af friktionsvinklen.



Figur 23: Udtrækningsforsøg med S300.



Figur 24: Udtærkningsforsøg med S400.

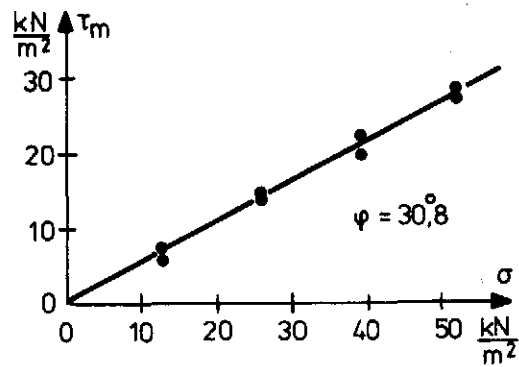


Figur 25: Udtærkningsforsøg med F-4M.

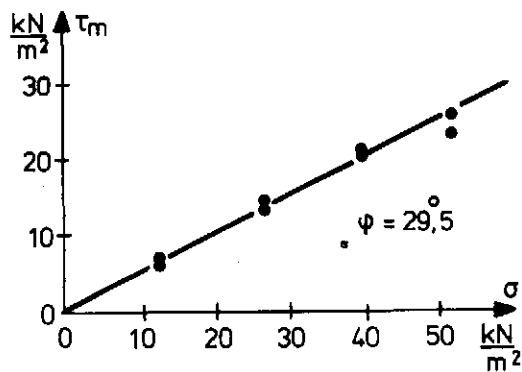
Af figurerne ses at S300 har den mindste deformation, men S400's deformation er dog næsten lige så lille. F-4M udviser derimod en ca. dobbelt så stor deformation.

Brudværdierne i forsøgene er afsat mod σ_q på figur 26 - 28 og friktionsvinklen mellem sand og dug udregnet.

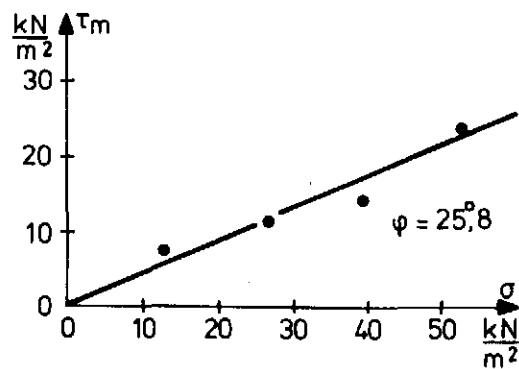
Da dugen må optræde som fuldstændig ru over for sandet, skulle man forvente at måle sandets friktionsvinkel, men friktion mellem dug og sand er øjensynlig langt mindre. Sandet er imidlertid tæt lejret og har dermed en arbejdscurve med et tydeligt maximum. Når der trækkes i dugen, og den deformeres, vil dugens forkant bevæge sig mere end resten af dugen, og forskydningskraften kan derved passere gennem maximumspunktet og måske endda helt ud på residualdelen af kurven. Samtidig trækker dugen så at sige sandkornene fra hinanden, hvorved sandlejrningen kan blive væsentlig løsere lejret. Imidlertid kan man ikke måle så lave friktionsvinkler i triaxialapparatet, som der her er tale om. Såfremt man derfor ønsker at bestemme en »omlejret residual friktionsvinkel«, må



Figur 26: S300. Friktion dug - sand.



Figur 27: S400. Friktion dug - sand.



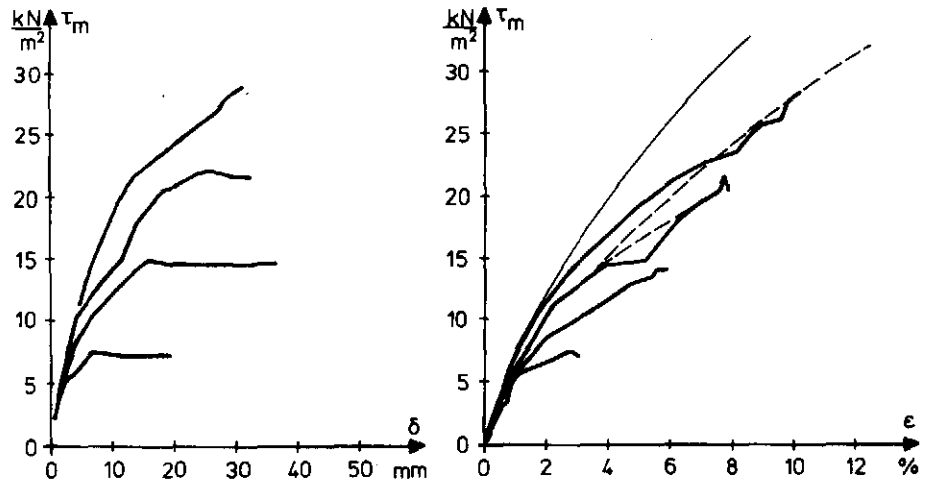
Figur 28: F-4M. Friktion dug - sand.

man udføre forsøg i et specielt apparat, og hvorfor så ikke udføre udtrækningsforsøg.

Videre tolkning af udtrækningsforsøg

Forsøgene er udført for at undersøge friktionen mellem dug og sand og der er ikke lagt vægt på flytninger og tøjninger, der blot er udregnet direkte fra forsøgsaflysningerne. I det frie stykke dug mellem trækkæbe og sand forekommer imidlertid forlængelse og krybning som der må korrigeres for såfremt tøjningerne skal anvendes. Arbejdskurverne i figur 23 føres derved over i de korrigerede arbejdskurver i figur 29. Korrektionen, der er relativt sikker, andrager ca. 30% på δ og noget mindre på ϵ .

På side 17 antoges retlinet fordeling af ϵ hen gennem prøven, hvad der forekommer rimeligt for små værdier af τ_m . Herved blev $\delta = \frac{1}{2} \epsilon_{\max} \cdot l$, hvor ϵ_{\max} kan findes af bredholderforsøg, svarende til $t_m = 4$ min. Den således beregnede kurve er indlagt med tynd linie (figur 29) og viser god overensstemmelse med udtrækningsforsøgene.



Figur 29: Udtrækningsforsøg med S300. (δ og ϵ korrigeret). Prøve no 1.

For større værdier af τ_m bøjer kurverne af. Dette kunne forklares ved en parabolisk fordeling af ϵ , der giver den punkterede tynde linie på figur 29. Til gengæld er det svært at indse hvordan denne fordeling kan opstå (!). Krybningen begynder imidlertid at spille ind, tydeligst ses det på $\tau_m - \epsilon$ kurvens afslutning, der er næsten vandret. Virkningen af krybningen kan dog ikke forklare de ret krumme kurver. Dette punkt må indtil videre anses for uafklaret.

En anden virkning af krybningen kunne være en nedsat friktion mellem dug og sand. For at undersøge det, er der udført to udtrækningsforsøg på henholdsvis 8 timer og 3 døgn. Resultaterne ses i nedenstående tabel:

t = 30 min.	$\tau_m^f = 14,7 \text{ kPa}$	$\sigma_k = 26,1 \text{ kPa}$
30 min.	13,6 kPa	26,1 kPa
8 timer	16,3 kPa	26,1 kPa
3 døgn	11,8 kPa	26,1 kPa

På dette grundlag kan der faktisk ikke udtales noget. Indtil videre må også dette punkt anses for uafklaret.

DUGENS STABILISERENDE VIRKNING

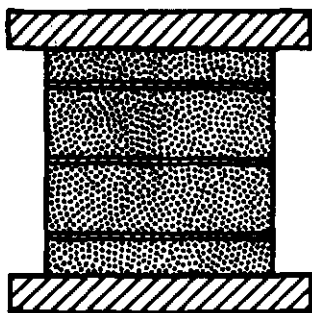
Virkningen af en armering af jorden kan ikke umiddelbart beregnes med de traditionelle geotekniske metoder, og det har derfor stor interesse at undersøge dette punkt nøjere. Problemerne kan indledningsvis betragtes på følgende måde:

Det simpleste tilfælde opstår i et zonebrud, hvor der ikke er diskontinuiteter i hastighedsfeltet, som fx bag en glat væg, der drejer om fodpunktet eller i et triaxialforsøg med glatte trykhoveder og prøvehøjde lig med diameteren (fig. 30). Dugen vil søge at hindre sideudvidelsen og virkningen kan tolkes som en forhøjelse af de vandrette spændinger eller som en kohæsion.

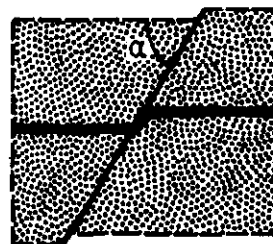
Såfremt et liniebrud opstår under den statisk korrekte vinkel med dugen, vil virkningen være den samme som nævnt ovenfor, så længe dugen betragtes som meget stiv. Nu giver dugen sig i virkeligheden og den stabiliserende virkning opstår først efter nogen forskydning. Dugen virker da i liniebruddets retning og giver umiddelbart et tillæg til forskydningsstyrken (fig. 31). Samtidig betyder ombøjning formentlig en nedsættelse af dugens virkning på de vandrette spændinger.

Hvad der sker, når liniebruddet danner en anden vinkel med dugen, er langt mere kompliceret at beregne.

Ovennævnte problemstillinger er derimod velegnede til elementforsøg. Det blev derfor påtænkt at udføre triaxialforsøg med store prøver (25 x 25° cm) og vandret armering, svarende til figur 30. Endvidere blev planlagt forsøg med liniebrud, der skærer armeringen i forskellige vinkler. Til det sidste formål er udviklet og opstillet den »skrå skærbox«, men der blev ikke plads inden for bevillingens rammer til at udføre nogen af de planlagte forsøg, bortset fra ordinære skærboxforsøg, hvor liniebruddet



Figur 30: Triaxialforsøg med vandret armeret prøve



Figur 31: Liniebrud i armeret jord.

har samme retning som armeringen. En bevilling fra Aalborg Universitetscenters egne midler muliggjorde dog en forsøgsserie, der har tjent til indkøring af apparatet.

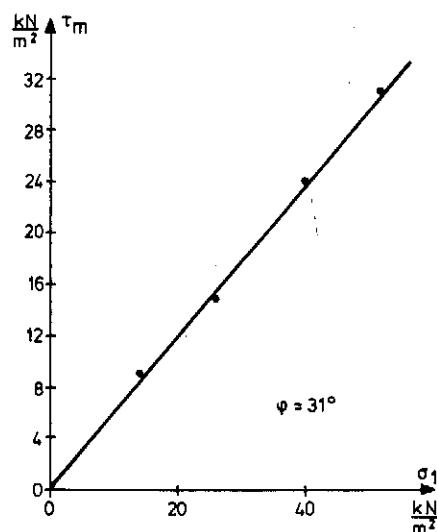
Forsøg med almindelig skærbox

Der anvendes en skærbox og en forsøgsopstilling som er identisk med fig. 21. Men denne gang trækkes ikke i dugen men i øvre halvdel af skærboxen, altså nøjagtig som ved sædvanlige skærboxforsøg.

Brudmekanismen er lidt forskellig i de to forsøgstyper. I udtrækningsforsøgene strækkes dugen mest i den ene ende, og bruddet må antages at udvikles progressivt hen langs dugen. I skærboxforsøget er dugens stabiliserende virkning betydningsløs. Dugen overfører blot spændinger mellem de to sandlegemer. Man kan derfor forestille sig at friktionsvinklen ville være forskellig i de to forsøgstyper.

Der er udført 4 forsøg med S300 ved forskellige normaltryk. Blokhussandets poretal er 0,55, det er næsten det samme som de tidligere nævnte udtrækningsforsøg. Forsøgenes arbejdskurver fremgår af bilaget, figur 123. Forsøgresultatet er vist på figur 32. Det ses, at friktionsvinklen åbenbart er den samme som ved udtrækning.

Såfremt liniebruddet går i dugens retning betyder det åbenbart en svækkelse af konstruktionen. Liniebruddet vil søge at gå i armeringens retning.



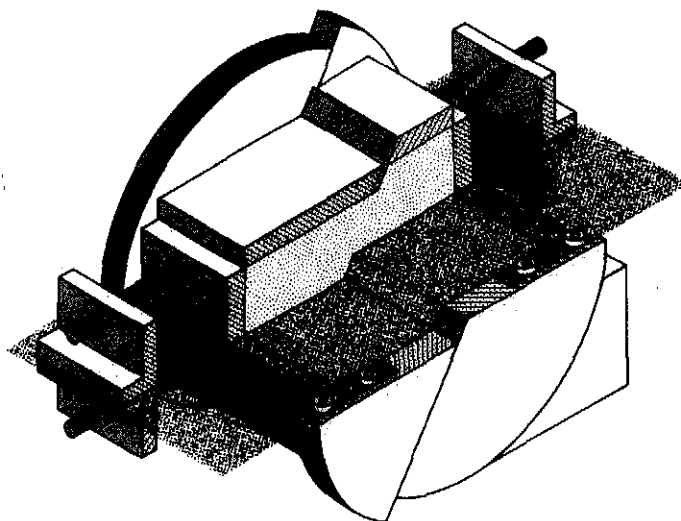
Figur 32: S300. Friktion dug mod sand. Skærboxforsøg.

Den skrå skærbox

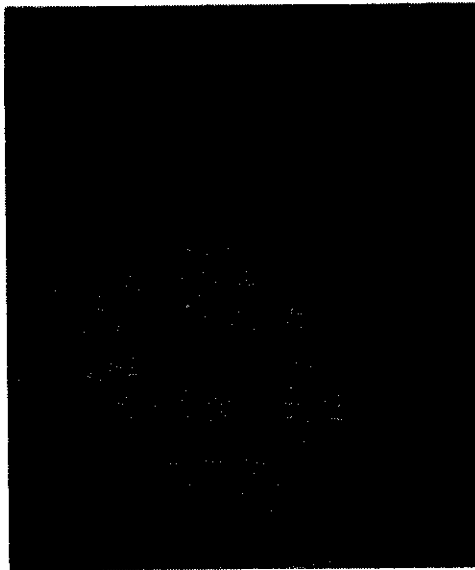
Den skrå skærbox er vist på figur 33. Den er delvist opskåret, således at det er muligt at se apparatets virkemåde. Den er opstillet med en brudflade, der hælder 60° , men det er også muligt at udføre forsøg med 30° og 90° . Sandprøven er udlejret ved inddrysning. Efter at prøvens nedre halvdel er udlejret, afrettes sandoverfladen og dugen indlægges, hvorefter prøven gøres færdig. Dugen er bredholdt ved små hjul. Der er på tegningen vist fire. I nærheden af skærefladen kan dugen dog ikke bredholdes. Prøven begrænses foroven og forneden af trykhoveder. I mellemrummet mellem trykhovederne er indskudt en plade, der forhindrer sandet i at rende ud. For enderne afgrænses sandprøven af plader, hvorigennem dugen føres ud til en fastgørmingsmekanisme, der kan være løs eller fast (som her) eller elastisk, såfremt fjedre indskydes. Herved kan der tages hensyn til forskellig indspændingsgrad. I glidefladens apparatdele indbygges en gummimembran for at hindre friktion her.

Under forsøget påføres først en lodret belastning på de øvre trykhoveder. Herefter forskydes de to apparatdele i forhold til hinanden og forskydningskraften P måles. Derimod måles normalkraften i brudfladen ikke. Normalkraften overføres gennem kuglelejer for at undgå friktion.

Måleprincippet fremgår af fig. 35. De kendte størrelser er egenvægt af apparat og sand G og den lodrette belastning Q . Normalkraften i brudfladen N kan ikke måles og kendes heller ikke. Trykhovedet er ru og en forskydningskraft kan overføres fra sand til trykhoved. Støder trykhovedet



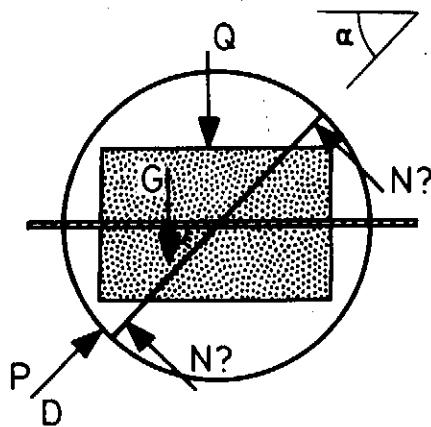
Figur 33: Den skrå skærbox.



Figur 34: Den skrå skærbox under forsøg.

mod apparatets dele kan derved eventuelt indføres en målefejl, og det må naturligvis undgås. Under forsøget måles P . Gennemsnitsforskydningskraften T_m fås da af

$$T_m = (Q + G) \sin \alpha - P$$



Figur 35: Den skrå skærbox. Måleprincip.

Bestemmelse af dugens virkning med en bestemt værdi af Q og α fås da af følgende lille forsøgsserie:

a. Forsøg uden sand og dug.

Herved kontrolleres apparatets virkemåde. Ikke nødvendig hver gang.

b. Forsøg med sand, men uden dug.

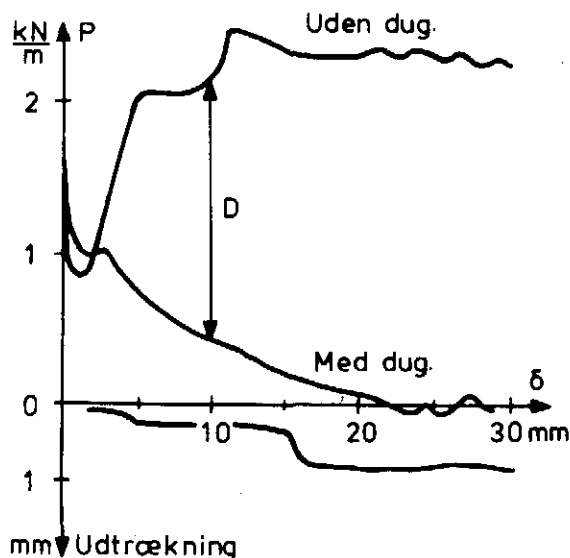
Herved kontrolleres sandets friktionsvinkel ved de meget små middelspændinger, som der her er tale om.

c. Forsøg med sand og dug.

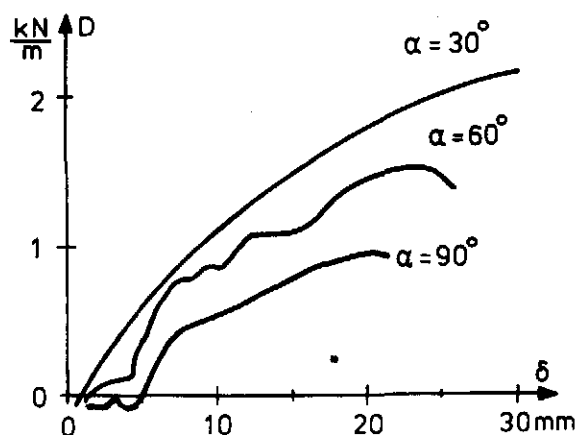
Dugens virkning fås ved sammenligning med forsøg b.

Den indledende forsøgsserie var ikke konklusiv eller konsistent og skal derfor ikke beskrives her. Et forsøgsresultat vises dog i figur 36. Forsøget er udført med løs dug og der ses nogen udtrækning for $\delta = 15$ mm, øjensynligt uden betydning for forsøget. Ved sammenligning mellem forsøg b og c findes dugens indflydelse på forskydningskraften.

På figur 37 ses tre forsøg med samme lodrette spænding, men forskellige værdier af α . Hvor meget man kan lægge i forsøgsresultatet vides ikke, før en større forsøgsserie er gennemført. Resultatet stemmer dog meget godt med forventningerne. Det ses fx at med $\alpha = 90^\circ$, altså størst mulig vinkel mellem brudflade og dug, skal der finde en ret stor bevægelse sted før dugen aktiveres.



Figur 36: Forsøg i skrå skærbox.



Figur 37: Sammenligning mellem forskellige forsøg.

Konklusion

Forsøgsarbejdet vedrørende dugens stabiliserende virkning mangler, men der forefindes ved laboratoriet udstyr til to typer elementforsøg, som begge må anses for væsentlige i udbygningen af vor forståelse for dugenes virkemåde.

Den ene type er triaxialforsøg med armerede prøver. De ville være specielt velegnede til at undersøge langtidsvirkninger af armeringen.

Den anden type er forsøg i den skrå skærbox, hvori brudmekanismen ved liniebrud (stabilitet) kan studeres.

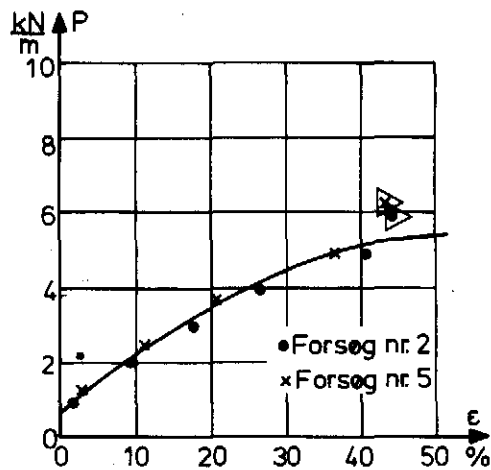
HOVEDKONKLUSION

Der er undersøgt en række geotextiler fra Fibertex. De er alle af typen »non-woven«. Hovedproblemet med anvendelse af dugene som armering i jord er naturligvis dugenes ret store deformationer, kombineret med generende langtidsvirkninger, nemlig krybning og svækkelse. Krybning er vedblivende deformationer i dugen ved konstant belastning. Svækkelse er en formindskelse i styrke, som ikke skyldes sollys, men krybning.

En løsning på ovennævnte problem er formentlig at anvende en tilpas høj partialkoefficient på materialstyrken. Det ser således ud til, at for dugen S300 vil $f_m = 4$ betyde en normal sikkerhed efter 50 års brug og formentlig rimelige deformationer i konstruktionen. Imidlertid må partialkoefficienten fastsættes i det enkelte tilfælde. Den må fx forventes meget større for F-4M. En rimelig fremgangsmåde kunne være at udføre de normale bredholderforsøg som fabrikken allerede udfører, hvorefter dugen belastes med 75% af brudbelastningen i disse forsøg. Der måles nu hvor lang tid der går inden dugen bryder for denne belastning. Svækkelsen kan nu beregnes, såfremt man antager at den forløber logaritmisk med tiden (se figur 10).

Dugens friktion over for sand er påfaldende lav. Således er målt 31° plant, hvor sandets triaxiale friktionsvinkel er målt til $35-38^\circ$. Det er målt såvel i udtrækningsforsøg som i sædvanlige skærboxforsøg. Det kan skyldes, at sandet nærmest dugen bliver løsere på grund af dugen, og at dugens deformation fremkalder en forøget virkning af progressivt brud. Dugens friktion over for dug er endnu meget mindre (der er målt 18°) og såfremt duge udlægges med overlæg, bør der derfor være sand mellem dugene.

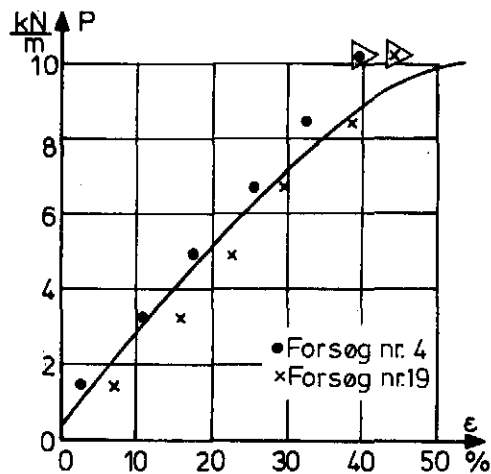
Dugenes lave langtidsstyrke synes at gøre den uegnet til andet end meget små blivende konstruktioner eller meget kortvarige belastninger. Det kan man imidlertid ikke vide, før en nøjere undersøgelse af dugens stabiliserende virkning på brud foreligger. Hertil kræves elementforsøg, som endnu ikke er udført (forslag på forrige side), og en sammenligning mellem elementforsøgene og passende modelforsøg.



FORSØG NR. 2 & 5

P kN/m	ϵ %	t min.
1,0	1,8	125
2,0	9,4	1145
3,0	17,8	125
4,0	26,6	155
5,0	40,2	1140
6,0	44,1	2
1,3	2,9	1290
2,5	11,2	270
3,8	20,7	1160
5,0	36,6	277
6,3	43,3	1

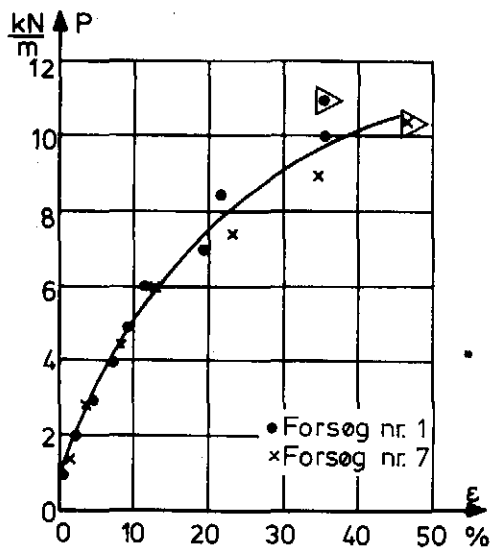
Figur 101. F-2B Bredholderforsøg på langs.



FORSØG NR. 4 & 19

P kN/m	ϵ %	t min.
1,5	2,7	5340
3,3	10,7	340
5,0	17,5	1083
6,8	25,1	288
8,5	32,6	1150
10,3	39,3	35
1,5	7,0	1300
3,3	15,9	180
5,0	22,9	1530
6,8	29,7	258
8,5	38,5	1045
10,3	44,3	0,5

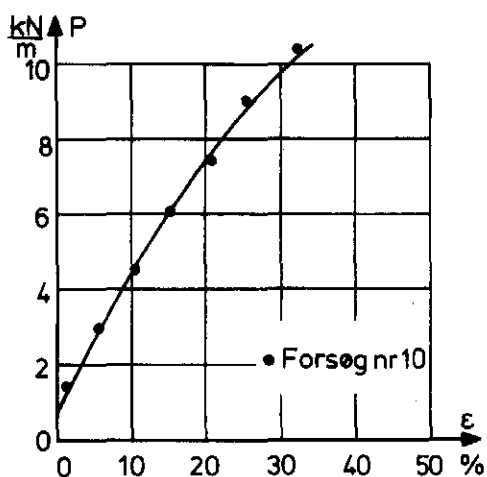
Figur 102. F-4M Bredholderforsøg på langs.



Figur 103. S-300 Bredholderforsøg på langs.

FORSØG NR. 1 & 7

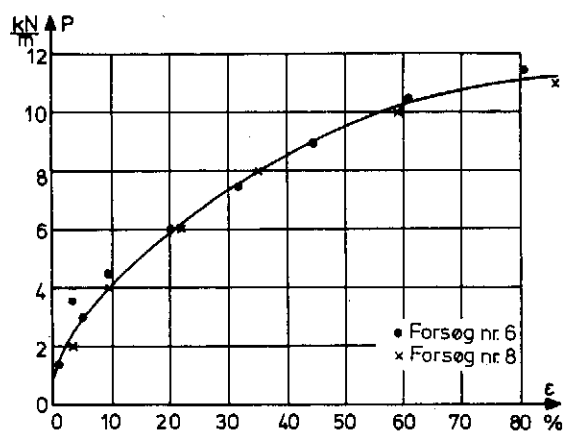
P kN/m	ϵ %	t min.
1,0	0,1	1130
2,0	2,5	277
3,0	4,5	1148
4,0	7,1	352
5,0	9,3	1095
6,0	12,8	273
7,0	19,1	1140
8,5	21,8	143
10,0	35,5	1296
11,0	-	60
1,5	1,1	1044
3,0	4,6	4325
4,5	8,2	1795
6,0	13,1	11535
7,5	23,7	8420
9,0	34,9	1320
10,5	45,6	180



Figur 104. S-300 Bredholderforsøg på tværs.

FORSØG NR. 10

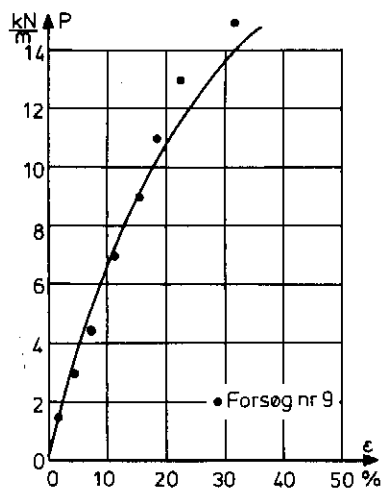
P kN/m	ϵ %	t min.
1,5	1,2	4450
3,0	5,7	4200
4,5	10,9	255
6,0	15,5	1060
7,5	20,2	1380
9,0	25,3	5760
10,5	32,4	1780



Figur 105. S-400 Bredholderforsøg på langs.

FORSØG NR. 6 & 8

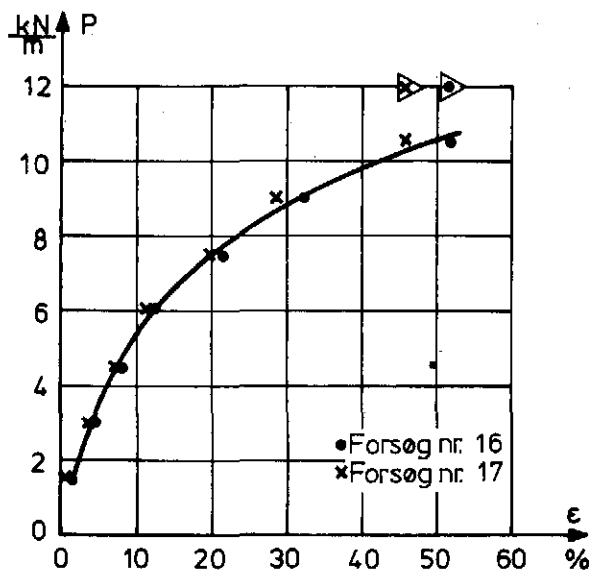
P kN/m	ϵ %	t min.
1,5	1,0	380
3,0	5,0	1070
4,5	9,3	240
6,0	20,2	7200
7,5	31,8	1430
9,0	44,9	275
10,5	61,9	1140
11,5	81,0	125
2,0	3,3	3880
4,0	9,8	1440
6,0	22,2	1440
8,0	35,1	1563
10,0	59,6	1343
11,0	86,4	70
12,0	86,4	0,5



Figur 106, S-400 Bredholderforsøg på tværs.

FORSØG NR. 9

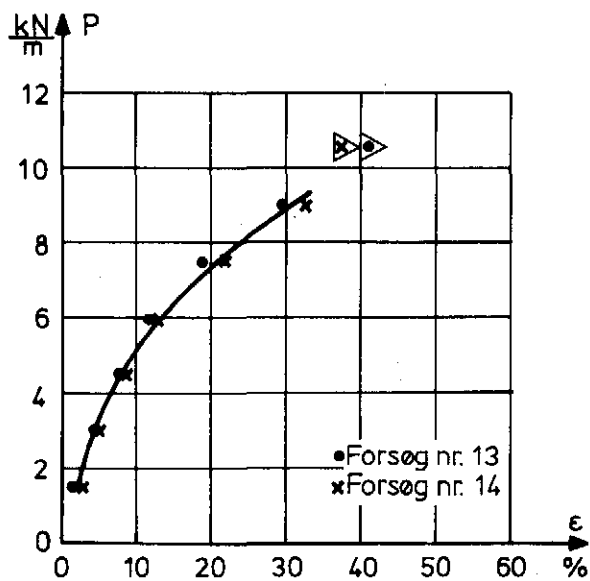
P kN/m	ϵ %	t min.
1,5	1,4	300
3,0	4,1	1180
4,5	7,2	180
7,0	11,5	6840
9,0	15,7	280
11,0	18,2	1055
13,0	22,7	1440
15,0	31,2	300



Figur 107: S300. Bredholderforsøg på langs
($t = 4$ min.).

FORSØG NR. 16 & 17

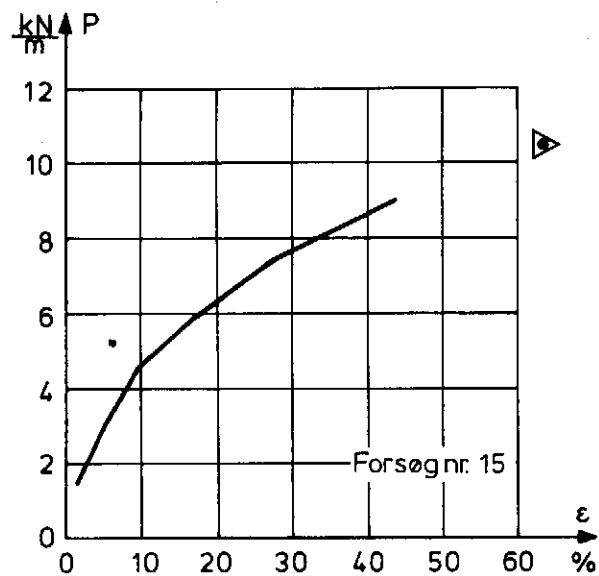
P kN/m	ϵ_m %	t_{\max} min.
1,5	1,1	4
3,0	4,1	4
4,5	7,8	4
6,0	12,0	4
7,5	21,1	4
9,0	32,2	4
10,5	51,5	4
12,0	—	0,5
1,5	0,6	4
3,0	3,6	4
4,5	7,3	4
6,0	11,2	4
7,5	19,6	4
9,0	28,7	4
10,5	45,8	4
12,0	—	1



Figur 108: S300. Bredholderforsøg på langs
($t = 16$ min.).

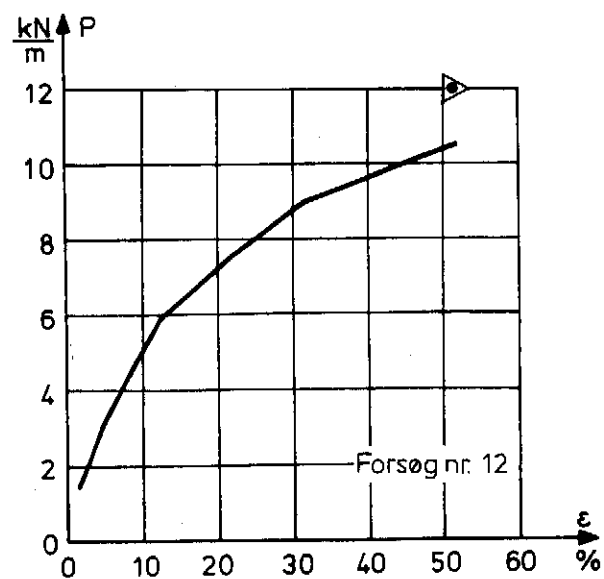
FORSØG NR. 13 & 14

P kN/m	ϵ_m %	t_{\max} min.
1,5	1,2	16
3,0	4,1	16
4,5	7,7	16
6,0	11,4	16
7,5	18,9	16
9,0	29,2	16
10,5	40,0	6
1,5	1,4	16
3,0	4,4	16
4,5	8,1	16
6,0	12,8	16
7,5	21,9	16
9,0	32,6	16
10,5	38,8	1



FORSØG NR. 15

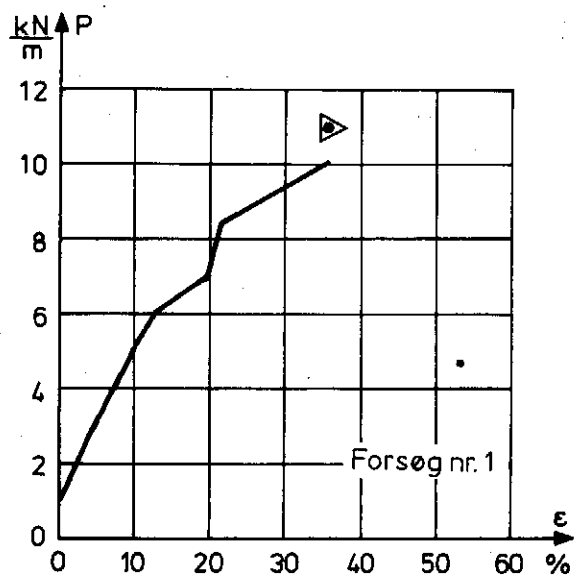
P kN/m	ϵ_m %	t_{max} min.
1,5	1,2	50
3,0	5,0	50
4,5	9,2	50
6,0	17,1	50
7,5	27,5	50
9,0	43,1	50
10,5	63,7	>40

Figur 109: S300. Bredholderforsøg på langs ($t = 50$ min.).

FORSØG NR. 12

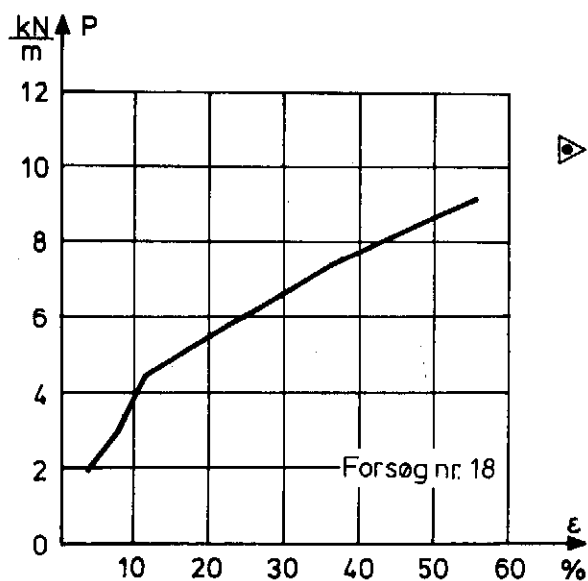
P kN/m	ϵ_m %	t_{max} min.
1,5	1,3	75
3,0	4,4	75
4,5	8,3	107
6,0	12,6	60
7,5	21,2	60
9,0	31,4	900
10,5	51,7	60
12,0	—	0,5

Figur 110: S300. Bredholderforsøg på langs ($t = 60$ min.).



FORSØG NR. 1

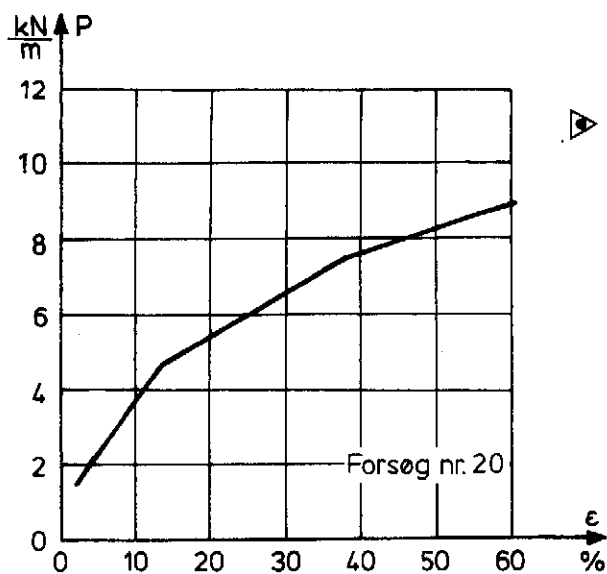
P kN/m	ϵ_m %	t_{\max} min.
1,0	0,1	1130
2,0	2,5	277
3,0	4,5	1148
4,0	7,1	352
5,0	9,3	1095
6,0	12,8	273
7,0	19,1	1140
8,5	21,8	143
10,0	35,5	1296
11,0	—	60

Figur 111: S300. Bredholderforsøg på langs ($t = 240$ min.).

FORSØG NR. 18

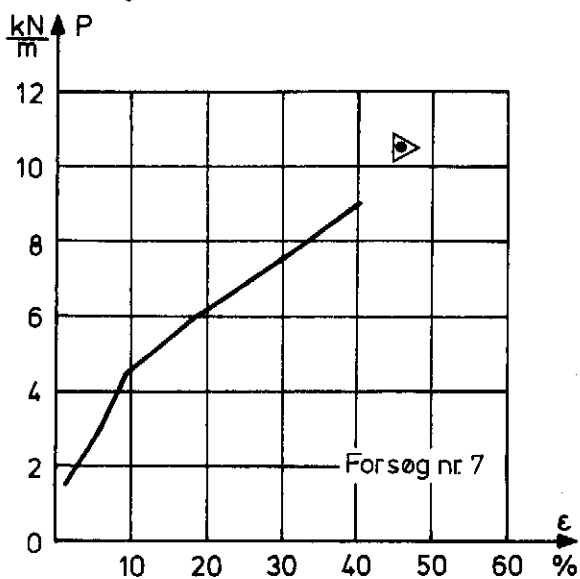
P kN/m	ϵ_m %	t_{\max} min.
2,0	3,8	1380
3,0	7,5	2595
4,5	11,7	285
6,0	24,8	1150
7,5	36,7	300
9,0	55,1	1165
10,5	80,3	4

Figur 112: S300. Bredholderforsøg på langs ($t = 1200$ min.).



FORSØG NR. 20

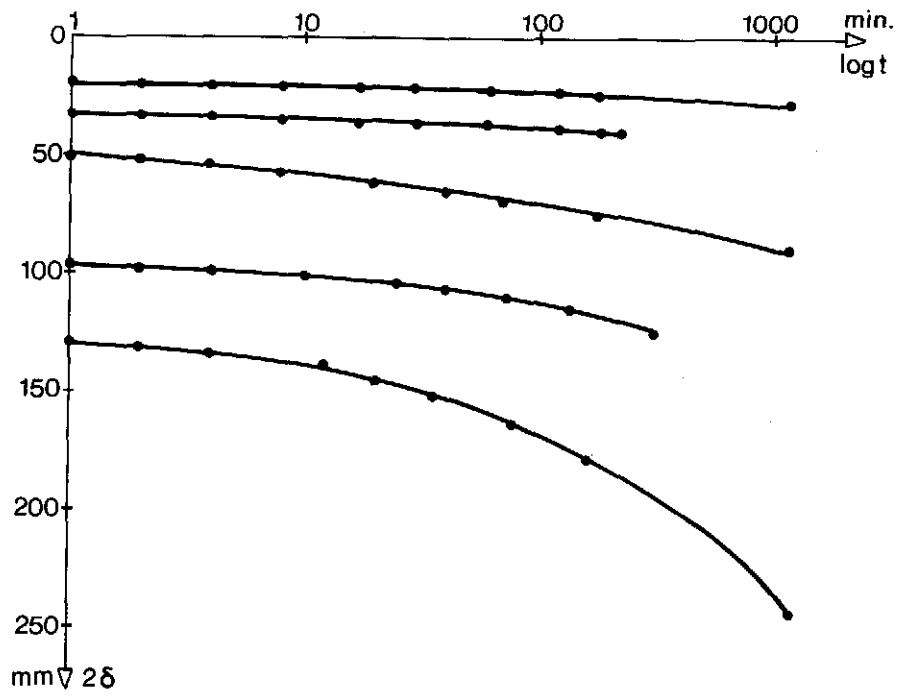
P kN/m	ϵ_m %	t_{\max} min.
1,5	2,5	1387
4,5	12,6	1445
7,5	37,2	1440
9,0	60,9	1518
10,5	69,5	85

Figur 113: S300. Bredholderforsøg på langs ($t = 1440$ min.).

FORSØG NR. 7

P kN/m	ϵ_m %	t_{\max} min.
1,5	1,8	1044
3,0	5,9	4325
4,5	9,7	1795
6,0	18,5	11535
7,5	29,7	8420
9,0	40,1	1320
10,5	45,6	180

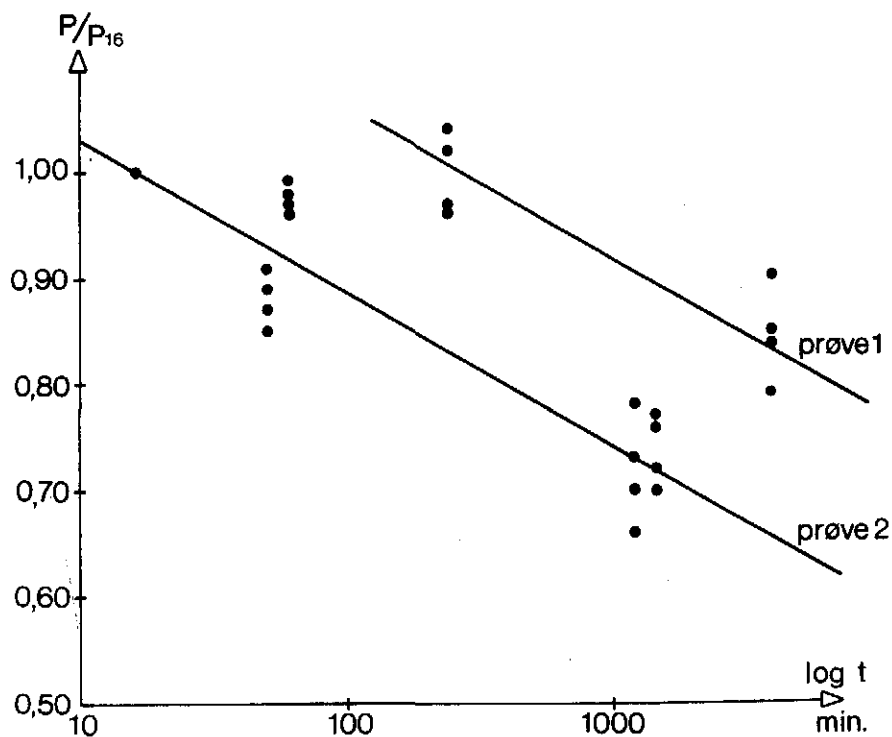
Figur 114: S300. Bredholderforsøg på langs ($t = 4000$ min.).



Figur 115: Tidskurver for forsøg nr. 18.

Forseg nr.	13-14		15		12		1		18		20		7	
Figur nr. i bilag	108		109		110		113		111		112		114	
t_m i min.	16		50		80		240		1200		1440		4000	
	P	P/P ₁₆	P	P/P ₁₆	P	P/P ₁₆	P	P/P ₁₆	P	P/P ₁₆	P	P/P ₁₆	P	P/P ₁₆
$\epsilon = 5\%$	3,3	1,00	3,0	0,91	3,2	0,97	3,2	0,97	2,3	0,70	2,3	0,70	2,8	0,85
10%	5,3	1,00	4,5	0,85	5,1	0,96	5,1	0,96	3,5	0,86	3,8	0,72	4,3	0,81
20%	7,4	1,00	6,4	0,87	7,3	0,99	7,7	1,04	5,4	0,73	5,6	0,76	6,2	0,84
30%	9,0	1,00	7,8	0,87	8,8	0,98	9,4	1,04	6,6	0,73	6,8	0,76	7,8	0,85
40%	10,0	1,00	8,9	0,89	9,7	0,97	10,2	1,02	7,8	0,78	7,7	0,77	9,0	0,90

Figur 116.



Figur 117: Svækkelse af dugen, målt ved små deformationer.

Forsøg nr. 1 dd		Forsøg nr. 2 dd		Forsøg nr 3 dd		Forsøg nr. 4 dd	
$\sigma = 13,5 \text{ kN/m}^2$		$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$		$\sigma = 39,9 \text{ kN/m}^2$		$\sigma = 52,3 \text{ kN/m}^2$	
τ kN/m ²	δ mm	τ kN/m ²	δ mm	τ kN/m ²	δ mm	τ kN/m ²	δ mm
0,3	0,3	0,5	0,3	0,6	0,4	0,6	0,2
0,8	0,8	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9	0,4
1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,4	2,1	1,3
2,1	2,6	2,4	2,5	3,5	3,1	2,9	1,9
2,9	4,1	3,5	4,0	6,8	7,8	4,6	3,8
3,3	7,3	4,4	5,7	8,0	11,1	7,2	7,9
3,2	9,7	5,7	8,9	10,2	15,1	8,2	9,9
3,1	15,1	6,6	11,8	11,8	22,5	10,3	15,3
3,0	20,9	7,6	17,3	9,9	27,7	12,8	24,4
3,1	25,0	7,0	24,4	9,2	33,5	13,8	33,6
3,0	29,6					14,2	37,6

Figur 118: Forsøgsresultater for udtrækningsforsøg af dug mellem duge S300 på langs. Se iøvrigt figur 18.

S300. Udtrækningsforsøg dug - sand. (Fig. 23)

Forsøg nr. 6 ds			Forsøg nr. 7 ds			Forsøg nr. 8 ds			Forsøg nr. 9 ds		
$\sigma = 13,5 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 39,9 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 52,3 \text{ kN/m}^2$		
τ kN/m ²	δ mm	e %	τ kN/m ²	δ mm	e %	τ kN/m ²	δ mm	e %	τ kN/m ²	δ mm	e %
1,6	1,0	0,4	4,8	2,8	1,1	4,4	2,4	0,9	6,0	2,9	1,1
3,2	2,2	0,8	8,4	6,1	2,3	7,8	5,1	1,9	10,4	6,1	2,3
4,9	2,6	0,9	10,9	9,5	3,5	11,2	7,4	3,8	13,8	9,6	3,6
6,0	4,2	1,4	12,6	13,7	4,9	13,8	11,7	4,3	16,6	13,1	4,8
6,8	7,0	2,3	13,9	16,9	5,5	14,8	15,4	5,6	19,1	16,7	6,1
7,5	8,5	2,7	14,7*	20,5	5,9	17,7	18,9	6,8	21,6	20,4	7,3
7,5*	10,1	2,9	14,4	24,4	6,0	19,2	22,2	7,8	22,5	23,9	8,3
7,3	11,8	3,0	14,2	28,4	6,2	20,5	26,1	8,6	23,6	27,5	9,3
7,4	13,5	2,9	14,2	32,5	6,4	21,6	29,6	9,2	24,8	31,3	10,3
7,4	15,9	3,0	14,3	36,3	6,7	22,0	33,5	9,6	25,8	35,0	11,28
7,4	16,7	3,0	14,0	39,4	6,7	22,2*	36,9	9,9	26,8	38,8	12,2
7,4	18,3	3,0	14,0	43,0	6,9	21,6	40,7	10,0	27,6	42,2	13,0
7,4	20,0	3,1				21,6	44,7	10,2	28,1*	46,0	13,5
7,4	21,7	3,1									

Figur 119: Udtrækningsforsøg dug - sand på S300, S400 og F-4M.
(Figuren fortsættes)

S400. Udtrækningsforsøg dug - sand. (Fig. 122)

Forsøg nr. 10 ds			Forsøg nr. 11 ds			Forsøg nr. 12 ds			Forsøg nr. 13 ds		
$\sigma = 13,5 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 39,9 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 52,3 \text{ kN/m}^2$		
τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %
3,8	2,1	0,8	4,8	2,1	0,8	4,7	2,6	1,0	4,9	3,0	1,1
5,8	5,6	1,9	7,0	5,1	2,1	8,3	5,6	2,1	8,3	6,0	2,3
7,0*	8,4	2,6	9,6	9,1	3,0	10,5	9,6	3,3	10,6	9,0	3,3
6,9	12,7	2,8	10,8	12,1	4,1	12,4	12,6	4,4	12,9	13,0	4,7
6,9	14,6	2,5	12,5	15,1	5,0	14,1	15,6	5,5	15,0	17,0	6,2
6,9	19,4	3,0	13,8	19,1	6,1	16,1	19,6	6,9	16,3	20,0	7,3
6,9	23,1	3,1	14,4*	23,1	6,7	17,5	23,6	8,2	17,5	24,0	8,8
6,9	27,0	3,2	14,1	27,1	6,8	18,4	26,6	9,1	18,4	28,0	10,2
6,9	32,6	3,3	14,2	30,1	7,0	19,2	30,6	10,2	19,4	31,0	11,2
6,9	36,3	3,4	14,1	34,1	7,3	19,9	34,6	11,3	20,6	35,0	12,5
6,9	40,1	3,5	14,1	38,1	7,5	20,6	38,6	12,0	21,5	38,0	13,4
6,8	45,8	3,6	14,0	42,1	7,6	20,9	41,6	12,5	22,3	40,0	13,9
			14,0	45,1	7,8	21,1*	44,6	12,9	22,9	44,0	15,2
									23,7*	47,0	16,0

S300. Udtrækningsforsøg dug - sand. (Fig. 120)

Forsøg nr. 14 ds			Forsøg nr. 15 ds			Forsøg nr. 16 ds			Forsøg nr. 17 ds		
$\sigma = 13,5 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 39,9 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 52,3 \text{ kN/m}^2$		
τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %
2,3	1,7	0,6	3,2	1,2	0,5	5,2	2,1	0,8	7,3	2,7	1,0
4,6	4,7	1,6	8,6	4,2	1,5	8,3	4,1	1,5	11,4	5,7	2,1
5,8	7,7	2,2	9,7	7,2	2,5	10,2	6,1	2,2	13,8	8,7	3,1
5,8*	10,7	2,3	11,7	10,2	3,4	11,6	8,1	2,9	16,4	11,7	4,1
5,7	13,7	2,4	13,5	15,2	3,9	13,7	11,1	3,9	18,6	14,7	5,2
5,7	16,7	2,5	13,6*	18,2	4,5	15,4	14,1	5,0	20,2	17,7	6,3
5,7	20,7	2,6	13,4	21,2	4,6	16,7	17,2	6,0	22,1	21,7	7,7
5,7	24,7	2,7	13,4	24,2	5,0	18,0	20,1	6,9	23,6	25,7	8,9
5,7	28,7	2,8	13,5	27,2	5,0	18,9	23,1	7,6	24,5	28,7	9,7
5,6	32,7	2,8	13,5	30,2	5,2	19,5	26,1	8,2	24,8	31,7	10,6
5,6	36,7	2,9	13,5	33,2	5,3	19,6	29,1	8,6	26,0	36,7	12,2
			13,4	36,2	5,5	19,6	33,1	8,6	26,9*	43,7	13,2
			13,4	39,2	5,5	19,8*	37,1	9,6	26,7	46,7	13,5
						19,8	41,1	9,9	26,6	49,7	13,9

Figur 119: Udtrækningsforsøg dug - sand på S300, S400 og F-4M.
(Fortsat figur).

S400. Udtrækningsforsøg dug - sand. (Fig. 24)

Forsøg nr. 18 ds			Forsøg nr. 19 ds			Forsøg nr. 20 ds			Forsøg nr. 21 ds		
$\sigma = 13,5 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 39,9 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 52,3 \text{ kN/m}^2$		
τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %
2,8	1,9	0,7	5,6	4,0	1,5	4,9	3,1	1,2	4,4	3,8	1,4
5,8	4,9	1,8	8,0	7,0	2,6	8,0	6,1	2,2	8,6	7,8	2,9
6,6	7,9	2,4	10,7	12,0	4,4	10,6	10,1	3,6	12,1	12,8	4,7
6,8	10,9	2,5	11,7	15,0	5,4	12,5	14,1	6,0	15,1	17,8	6,5
6,7*	13,9	2,6	12,9	19,0	6,5	14,4	18,1	6,4	16,8	21,8	8,0
6,6	17,9	2,6	13,7	23,0	7,3	15,9	22,1	7,7	18,2	25,8	9,5
6,0	23,9	2,5	13,8*	28,0	7,7	17,0	26,1	9,0	19,3	29,8	10,9
5,8	28,9	2,4	13,2	33,0	7,3	18,0	30,1	10,1	20,5	34,8	12,6
5,8	32,9	2,5	13,1	37,0	7,9	18,7	34,1	11,1	21,4	39,8	14,1
5,8	36,9	2,6	13,0	41,0	8,0	19,6	38,1	12,0	22,7	44,8	15,5
			13,0	44,0	8,1	20,0	41,1	12,7	23,4	47,8	16,4
			13,0	47,0	8,0	20,2	44,1	13,2	23,7	49,8	16,9
						20,2*	46,1	13,7	24,8	54,8	18,4
									25,8*	57,8	19,1
									25,6	59,8	19,5
									25,6	61,8	19,9
									25,6	64,8	20,7

F-4M. Udtrækningsforsøg dug - sand. (Fig. 25)

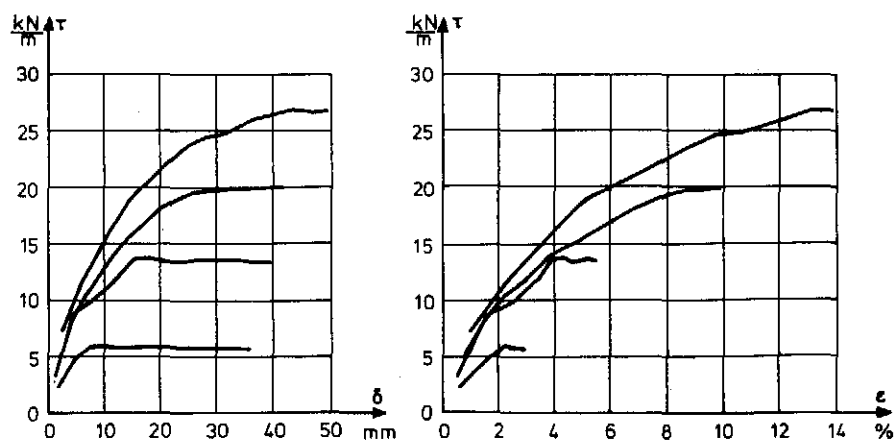
Forsøg nr. 22 ds			Forsøg nr. 23 ds			Forsøg nr. 24 ds			Forsøg nr. 25 ds		
$\sigma = 13,5 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 39,9 \text{ kN/m}^2$			$\sigma = 52,3 \text{ kN/m}^2$		
τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %	τ kN/m ²	δ mm	ϵ %
0,7	3,9	1,4	0,6	3,0	1,1	0,9	3,6	1,3	1,1	4,6	1,7
1,3	6,9	2,5	2,0	9,0	3,3	2,0	7,6	2,8	2,2	8,6	3,2
2,0	9,9	3,7	3,1	13,0	4,8	2,9	10,6	3,9	3,5	12,6	4,7
2,8	13,9	5,0	4,9	20,0	7,4	5,0	17,6	6,5	6,0	19,6	7,2
3,7	17,9	6,5	6,0	25,0	9,0	6,5	22,6	8,4	8,0	24,6	9,1
4,5	21,9	8,0	7,0	29,0	10,5	7,9	26,6	9,8	9,2	28,6	10,6
5,2	25,9	9,4	8,0	33,0	11,9	9,4	32,6	12,0	11,4	34,6	12,8
5,7	28,9	10,5	8,9	37,0	13,4	10,5	36,6	13,5	12,8	38,6	14,2
6,2	32,9	12,0	9,7	41,0	14,8	11,5	40,6	14,9	14,2	43,6	16,1
6,9	36,9	13,5	10,3	44,0	15,9	12,4	44,6	16,3	15,5	47,6	17,6
7,3	40,9	14,8	11,0	47,0	17,0	13,0*	47,6	17,4	16,0	49,6	18,3
7,6	43,9	15,7	11,3*	49,0	17,8	12,9	49,1	18,0	16,0	51,2	18,9
7,8*	46,9	16,3							18,0	52,6	19,4
5,6	47,7	16,4							18,6	56,6	20,9
									20,0	59,6	22,0
									20,8	62,6	23,1
									21,7	66,6	24,5
									22,5	67,8	24,9
									23,2*	70,6	26,0

Figur 119: Udtrækningsforsøg dug - sand på S300, S400 og F-4M.
(Fortsat figur).

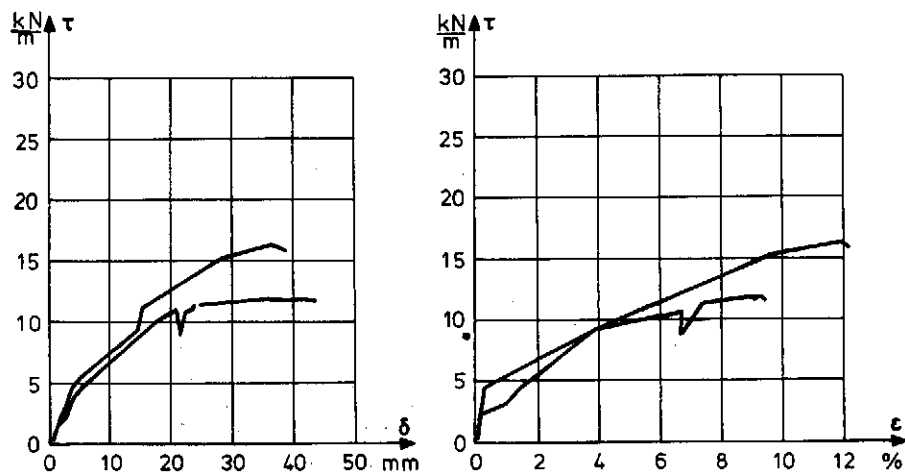
S300. Udtrækningsforsøg dug sand, langtidsforsøg.

Forsøg nr. 26 ds $\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$						Forsøg nr. 27 ds		
Langtidsforsøg						$\sigma = 26,1 \text{ kN/m}^2$		
$t_{\text{brud}} \approx 3 \text{ døgn}$						$t_{\text{brud}} \approx 8 \text{ timer}$		
τ	δ	ϵ	τ	δ	ϵ	τ	δ	ϵ
kN/m^2	mm	%	kN/m^2	mm	%	kN/m^2	mm	%
1,2	1,0	0,4	11,4	24,4	7,3	0,1	0,6	0,2
1,8	1,5	0,6	11,8	36,9	9,0	1,9	1,7	0,7
2,1	2,5	0,8	11,6	38,0	9,1	2,0	1,8	0,7
3,4	3,3	1,1	11,7	38,5	9,1	3,1	2,6	1,0
4,0	4,1	1,4	11,7	39,4	9,2	4,5	3,9	1,5
4,6	5,1	1,7	11,7	40,0	9,2	5,5	5,2	2,0
10,2	18,2	6,1	11,8	41,5	9,3	9,2	10,4	3,9
10,3	19,2	6,3	11,7	42,7	9,4	11,3	15,5	5,8
10,5	19,9	6,5	11,6	43,1	9,4	15,2	28,8	9,6
10,7	20,7	6,6				16,3	36,2	12,0
8,8	21,7	6,7				15,8	39,1	12,2
10,8	22,4	6,9						
11,4	24,0	7,2						

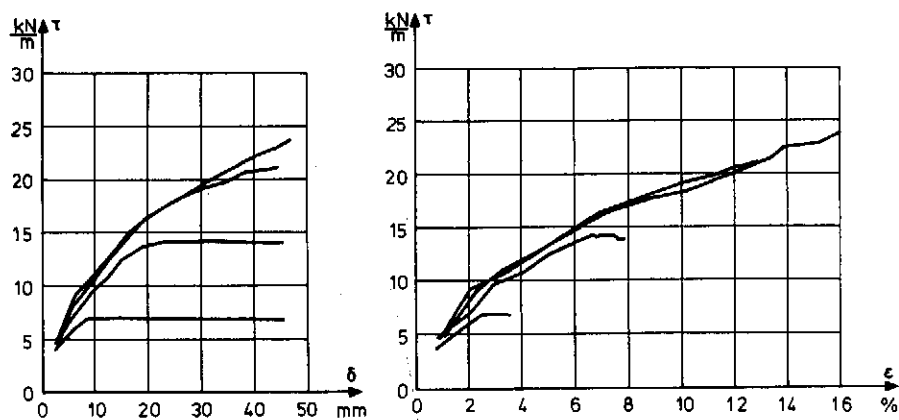
Figur 119: Udtrækningsforsøg dug - sand på S300, S400 og F-4M. (Fortsat figur).



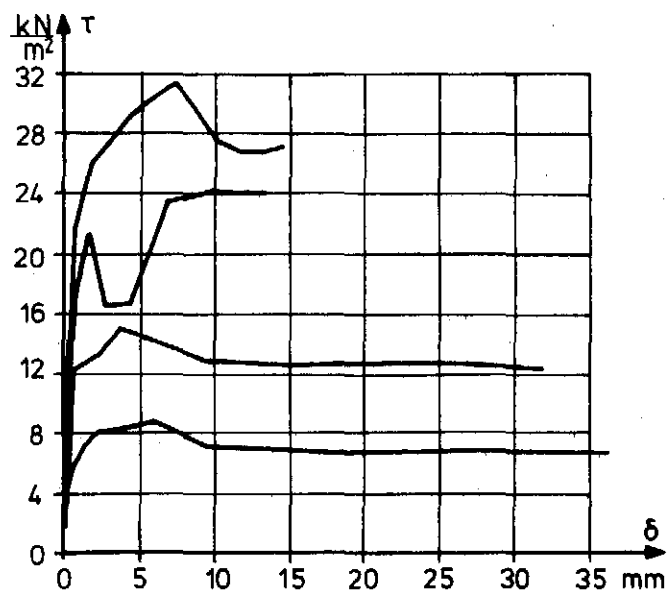
Figur 120: Udtrækningsforsøg med S300. Forsøg nr. 14-17 ds.



Figur 121: Udtrækningsforsøg med S300. Langtidsforsøg. Forsøg nr. 26-27 ds.



Figur 122: Udtrækningsforsøg med S400. Forsøg nr. 10-13 ds.



Figur 123: Skærboxforsøg med dug S300.

FORSØG NR. 2s, 3s, 4s og 5s

$\sigma = 13 \text{ kN/m}^2$		$\sigma = 26 \text{ kN/m}^2$		$\sigma = 40 \text{ kN/m}^2$		$\sigma = 52 \text{ kN/m}^2$	
τ kN/m ²	δ mm	τ kN/m ²	δ mm	τ kN/m ²	δ mm	τ kN/m ²	δ mm
3,0	0,0	1,7	0,0	2,5	0,0	3,4	0,0
5,7	0,5	7,9	0,1	9,9	0,1	11,0	0,1
7,4	1,4	12,1	0,3	17,3	0,7	21,6	0,6
8,4	2,3	13,3	2,2	21,2	1,6	26,0	1,7
8,9	4,1	15,0	3,6	17,5	2,9	27,3	2,4
9,1	5,1	12,7	9,5	17,8	4,4	29,4	4,4
7,7	9,7	12,8	15,4	23,5	6,7	31,2	7,1
7,7	11,1	12,8	21,5	24,1	9,8	27,5	10,0
7,4	17,9	12,6	26,8	24,0	11,8	26,8	11,4
7,4	22,5	12,3	32,5	24,0	13,1	26,9	13,1
7,4	27,5					27,0	14,3
7,4	36,2						